

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Studie změny napájení průmyslové zóny
z 22 kV na 110 kV

Study of Power Supply Change of
Industrial Zone from 22 kV to 110 kV

2012

Bc. Aleš Sita

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Aleš Sita

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Studie změny napájení průmyslové zóny z 22 kV na 110 kV
Study of Power Supply Change of Industrial Zone from 22 kV to 110 kV

Zásady pro vypracování:

V diplomové práci zpracujte následující problematiku:

- o Energetická síť 110 kV.
- o Legislativní rámec.
- o Podmínky pro napojení z napěťové hladiny 110 kV.
- o Návrh rozvodny 110 kV.
- o Technické a ekonomické zhodnocení.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. Ed. Nakladatelství MONTANEX, 2009, ISBN 987-80-7225-291-6
- o Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, VŠB Ostrava 1993
- o PPDS
- o <http://www.eru.cz/>
- o <http://www.ceps.cz/>
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



Bc. Aleš Sita

V Ostravě dne 27.4.2012

Poděkování

Chtěl bych upřímně poděkovat panu docentu Ing. Radomírovi Goňovi, Ph.D. za jeho vedení a podnětné rady při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Tato práce poukazuje na problematiku návrhu transformovny 110/22 kV a způsobu připojení průmyslové zóny k napěťové hladině 110 kV. V práci jsou popsány jednotlivé objekty transformovny a blížeji je specifikováno provedení a vybavení rozvodny 110 kV a napájecího vedení 110 kV. Pro napojení transformovny jsou navrženy tři varianty a s provedením rozvodny 110 kV budou posuzovány z technického a ekonomického hlediska. Po zvážení výběru nejvhodnější varianty bude zvolený způsob napojení porovnán se stávajícím provedením dodávky el. energie z napěťové hladiny 22 kV z hlediska činných ztrát pro zvolený přenášený výkon. Také je v této práci popsán legislativní rámec pro připojení z napěťové hladiny 110 kV spolu s podmínkami pro připojení k distribuční soustavě. Jsou zde také zmíněny práva a povinnosti zákazníka a PDS.

Abstrakt

This diploma thesis points to an issue of proposal of transformer station 110/22kV and the way of connecting the industrial area to a voltage level of 110 kV.

The particular parts of the transformer station are described in the thesis as well as the detailed specification of construction and equipment of distribution point 110 kV and the open wire line of 110kV. Three options are proposed for connecting the transformer station and they will be assessed together with construction of distribution point 110 kV from the technical and economical point of view. The selected way of connection will be compared with the current construction of electric power supply from the voltage level 22kV from the active loss point of view for chosen transmitted output. The legislative framework for connecting from voltage level 110 kV together with the condition for connection to distributive system are described in this thesis. Rights and duties of the customers and operator of distributive system are also mentioned.

Klíčová slova

Průmyslová zóna, transformovna, rozvodna, distribuční soustava, napájecí vedení, napěťová hladina, zkratový proud, mechanika vedení

Key words

Industrial area, transformer station, distribution point, distributive system, open wire line, voltage level, economic evaluation, short-circuit current, mechanics of power lines

Seznam použitých zkratk a symbolů:

AlFe	- kombinované lano konstruováno ze dvou materiálů
AXEKVCEY	- označení vysokonapěťového kabelu dle použitého materiálu a konstrukce
BSP	- budova společných provozů
CXEKVCEY	- označení vysokonapěťového kabelu dle použitého materiálu a konstrukce
ČEPS, a.s.	- Česká přenosová soustava, akciová společnost
ČEZ	- České energetické závody
ČR	- Česká republika
DS	- distribuční soustava
E.ON	- název distribuční společnosti
HOK	- hlavní ocelová konstrukce
HUS	- hlavní uzemňovací soustava
MTP	- měřicí transformátor proudu
PDS	- provozovatel distribuční soustavy
POK	- pomocná ocelová konstrukce
PPDS	- pravidla provozování distribuční soustavy
PRE	- Pražská energetika
PTN	- převodní transformátor napětí
PTP	- převodní transformátor proudu
vn	- vysoké napětí
vvv	- velmi vysoké napětí

Obsah

1.	Úvod	2
2.	Energetická síť 110 kV	2
2.1.	Elektrické stanice	2
2.1.1.	Konstrukční řešení a dispoziční uspořádání transformovny 110/22 kV	4
2.1.2.	Rozvodná zařízení vvn	5
2.2.	Elektrické sítě	8
2.2.1.	Elektrické sítě distribuční soustavy	9
2.2.2.	Elektrické sítě 110 kV	10
3.	Legislativní rámec pro připojení odběru vvn	13
3.1.	Provozovatel distribuční soustavy	14
3.2.	Práva a povinnosti zákazníka	16
3.3.	Pravidla provozování distribuční soustavy	16
3.3.1.	Všeobecné požadavky na připojení	17
4.	Standards připojení zařízení k distribuční soustavě napět'ové hladiny 110 kV	18
4.1.	Standards připojení odběrného místa k vedení vn	20
5.	Stávající napojení průmyslové zóny	22
6.	Přechod napojení průmyslové zóny na napět'ovou hladinu 110 kV	23
6.1.	Návrh transformovny 110/22 kV	25
6.1.1.	Rozvodna VVN	25
6.1.2.	Rozvodna vn	29
6.1.3.	Výkonové transformátory a uzlový odporník	31
6.1.4.	Ochrany, společná zařízení a části stanic	32
6.2.	Náklady na výstavbu transformovny 110/22 kV	33
6.3.	Varianty napojení transformovny 110/22 kV na DS 110 kV	34
6.3.1.	Varianta č. 1 napojení transformovny 110/22 kV	35
6.3.2.	Varianta č. 2 napojení transformovny 110/22 kV	36
6.3.3.	Varianta č.3 napojení transformovny 110/22 kV	36
6.4.	Návrh vedení 110 kV pro napojení transformovny	37
6.4.1.	Návrh vedení vvn varianta č.1	37
6.4.2.	Návrh vedení vvn varianta č.2	40
6.4.3.	Návrh vedení vvn varianta č.3	42
6.5.	Náklady na výstavbu vedení vvn 110 kV	42
7.	Ověření návrhů na účinky zkratových proudů	43
7.1.	Varianty č.1	44
7.2.	Varianty č.2	46
7.3.	Varianty č.3	48
8.	Technické a ekonomické zhodnocení navržených variant	49
9.	Porovnání činných ztrát napájení průmyslové zóny z napět'ové hladiny 110 kV a 22 kV	51
10.	Závěr	53
	Použitá literatura	54
	Seznam příloh	55

1. Úvod

Hlavním cílem této práce je blíže specifikovat náročnost návrhu a po té i výstavbu nové transformovny 110/22 kV pro zabezpečení dodávky potřebného výkonu do průmyslové zóny. V práci je probrána problematika podmínek připojení a potřebných úkonů z hlediska energetického zákona a pravidel provozování DS, zabývá se také z hlediska vybaveností transformovny a jejího napojení na vedení vvn 110 kV z technické stránky. V neposlední řadě je poukázáno na ekonomickou stránku výstavby a porovnání několik možných variant vzhledem ekonomickému a technickému směru. Po zvážení všech těchto aspektů je v závěru vyhodnocena nejvhodnější varianta.

2. Energetická síť 110 kV

Elektrická síť je nedílnou součástí elektrizační soustavy pro dodávku elektrické energie od zdrojů ke konečnému spotřebiteli. V této cestě jsou další důležitou částí elektrické stanice, které tvoří uzly v elektrizační soustavě a mají za úkol spínat různé větve soustavy, nebo také transformovat elektrickou energii na požadované napětí. Elektrické sítě jsou rozděleny podle napěťové hladiny do přenosové nebo distribuční soustavy. Napěťové hladiny 400 a 220 kV patří do přenosové soustavy.

Energetická síť 110 kV je z převážné části zahrnuta do distribuční soustavy a má za úkol dodávat elektrickou energii, z nadřazené přenosové soustavy 400 a 220 kV do měst nebo průmyslových závodů, kde je v transformovnách dále měněna na požadovanou napěťovou hladinu. Z čehož vyplývá, že do popisu energetické sítě 110 kV neodmyslitelně také patří popis elektrických stanic, z nichž jsou tyto sítě zapojeny.

2.1. Elektrické stanice

Práce je spíše okrajově věnována základnímu rozdělení a popisu elektrických stanic pro převod napěťové hladiny z přenosové soustavy na rozvodnou soustavu 400/110 kV popřípadě 220/110 kV, odkud bude napojena elektrická síť 110 kV pro zásobování distribuční soustavy ve které je počítáno s napojením průmyslové zóny na tuto elektrickou síť. V rozvodné soustavě slouží elektrické stanice ke změně napěťové hladiny 110/22 kV nebo 110/35 kV, ne jinak tomu je v průmyslových rozvodech, které jsou napájeny z napěťové hladiny 110 kV, kde je užito transformace 110/22 kV, která bude podrobněji rozebrána, a po té popřípadě dále transformována na 22/6, 22/0,4 kV, nebo na jiné potřebné napěťové hodnoty. Všeobecně elektrické stanice mohou být rozděleny podle účelu:

- transformovny, slouží k transformaci elektrické energie na požadované napětí a k jejímu rozvodu
- spínací stanice, slouží k rozvodu elektrické energie o stejném napětí
- měnirny, které slouží ke změně střídavé proudové soustavy na jinou (změna kmitočtu nebo na stejnosměrnou soustavu)

[12]

Podle způsobu obsluhy:

- s trvalou obsluhou
- bez obsluhy s pravidelným dozorem
- bez obsluhy s dálkovým ovládáním

Hlavní části těchto stanic jsou:

- elektrická část
- společná a pomocná část, sloužící k zabezpečení provozu a údržby
- stavební část, pozemky, budovy a jiné

[1]

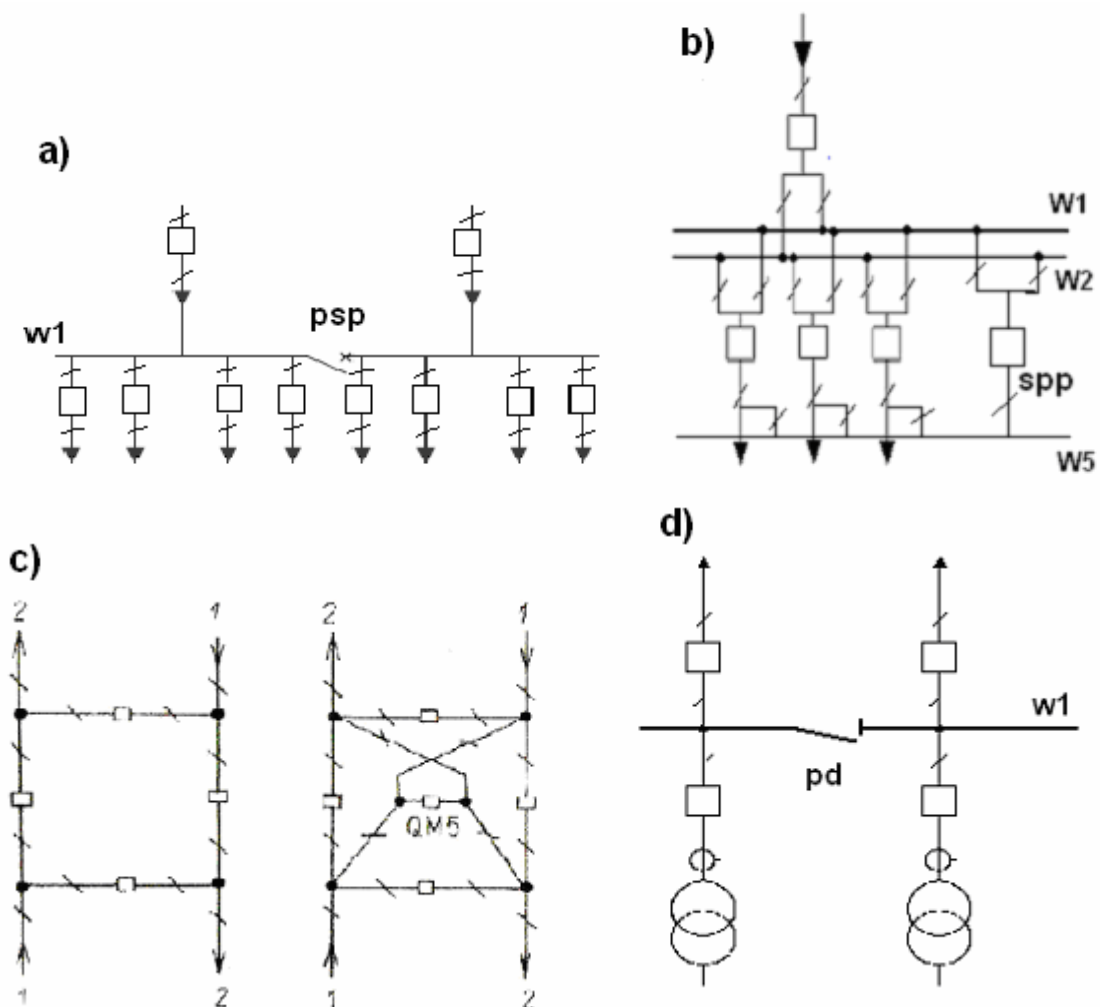
Důkladnější popis je třeba věnovat elektrické části, jež je složena z rozvodného zařízení, z transformátoru a z kompenzačního zařízení. Tyto části mohou být provedeny jako vnitřní, venkovní nebo polokryté. Rozvodná zařízení se montují buď přímo na místě použití (rozvodny) a nebo jsou sestaveny ve výrobním závodě a do elektrické stanice se montují jako celek (rozvaděče). Vybavení těchto zařízení je rozděleno podle účelu:

- spínací
- spojovací
- ochranné
- měřicí
- izolační

Pro identifikaci provozních vlastností elektrických stanic slouží jejich schémata. Ta jsou tvořena odbočkami a přípojnícemi, které se podle funkčnosti, počtu a druhů dále dělí. Odbočky jsou používány k přívodu nebo k vývodu el. energie a jejími částmi je výbava pro spínání, měření a ochranu vývodů. Mohou být rozděleny na hlavní, které slouží k napojení alternátoru (přívodu el. energie), transformátoru nebo k napojení dalších odběrů. A dále na pomocné, používané např. ke spínání hlavních nebo pomocných přípojníc, pro měření, pro bleskojistky. K propojení zmiňovaných odboček jsou určeny přípojnice, které musejí být dimenzovány na proudové zatížení a ostatní vlivy. Rozdělení těchto přípojníc může být shrnuto do čtyř základních částí:

- s přímými přípojnícemi (jednoduchými, dvojitými a pomocnými, trojitými apod.)
- s okružními přípojnícemi (bez záložního a se záložním spínačem)
- bez přípojníc
- s větším počtem vypínačů na odbočku

[1]



Obr. č.1 Bloková zjednodušená schémata provedení přípojníc
a) jednoduchý systém s podélnou spojkou ; b) dvojitý systém s pomocnou přípojnicí
c) okružní zapojení bez a s pomocným vypínačem ; d) bez přípojníc zapojení H [1]

Každé toto rozdělení přípojníc se používá dle potřebných požadavků, účelu napojení a také podle investičních možností. V dalším pododstavci budou blíže probrány pouze elektrické stanice sloužící k transformaci 110/22 kV.

2.1.1. Konstrukční řešení a dispoziční uspořádání transformovny 110/22 kV

Při návrhu dispozičního řešení je bráno v potaz navržené elektrické schéma, které udává počet přípojnícových systémů, odboček a jejich vybavení a v neposlední řadě počet transformátorů. Dalším důležitým faktorem je jmenovité napětí, druh přívodu, zkratové poměry a její začlenění do energetické soustavy. Neméně závažné ukazatele jsou z hlediska ekonomické hospodárnosti, jak po stránce investiční tak i provozní, a také druh

prostředí, ve kterém se transformovna bude nacházet. Na prvním místě však musí být počítáno s bezpečností provozu i osob. Ze zmiňovaných faktorů také vyplývá volba provedení rozvodných zařízení a stanoviště transformátorů. Jelikož v této práci je řešena studie napájení průmyslové zóny ze sítě 110 kV, bude popsáno především provedení rozvodných zařízení transformovny nad a do 52 kV.

Provedení rozvodných zařízení	
Zařízení vvn	Zařízení vn
- venkovní, převážná většina	- kobkové, jedno i vícepodlažní
- halové	- kobkové panelové
- zapouzďené, kde je nedostatek místa	- skříňové
	- halové
	- venkovní

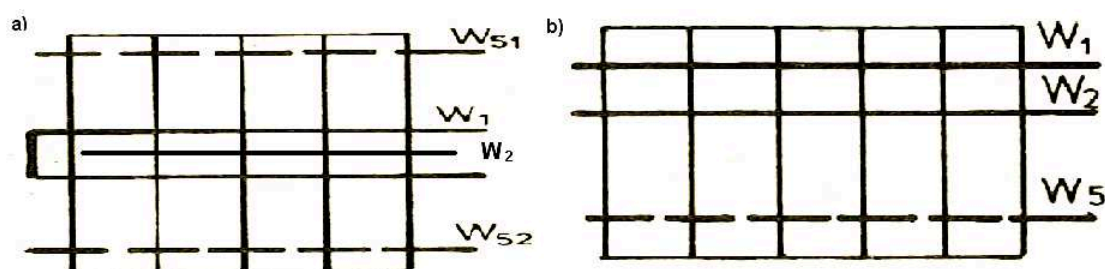
[1]

Umístnění transformátorů je provedeno buď přímo v rozvodném zařízení nebo jsou montovány v transformátorových komorách a nebo na volném stání. Rozvodné zařízení ze strany vvn bývá většinou venkovního provedení a transformátory bývají umístněny buď v transformátorových komorách a nebo na volném stání. V případě umístnění v lokalitách s výskytem zvětšeného znečištění se tato zařízení provádí buď jako vnitřní provedení a nebo při venkovním provedení je bezpečný provoz zajištěn např. zvýšením izolační hladiny, čištěním a nebo bezpečnostními nátěry. Rozvodná zařízení ze strany vn se převážně budují jako vnitřní provedení. Těmto zařízením nebude dále věnována pozornost, neboť průmyslová zóna v současné době je napájena z napěťové hladiny 22 kV a rozvodná zařízení jsou již vybudována.

2.1.2. Rozvodná zařízení vvn

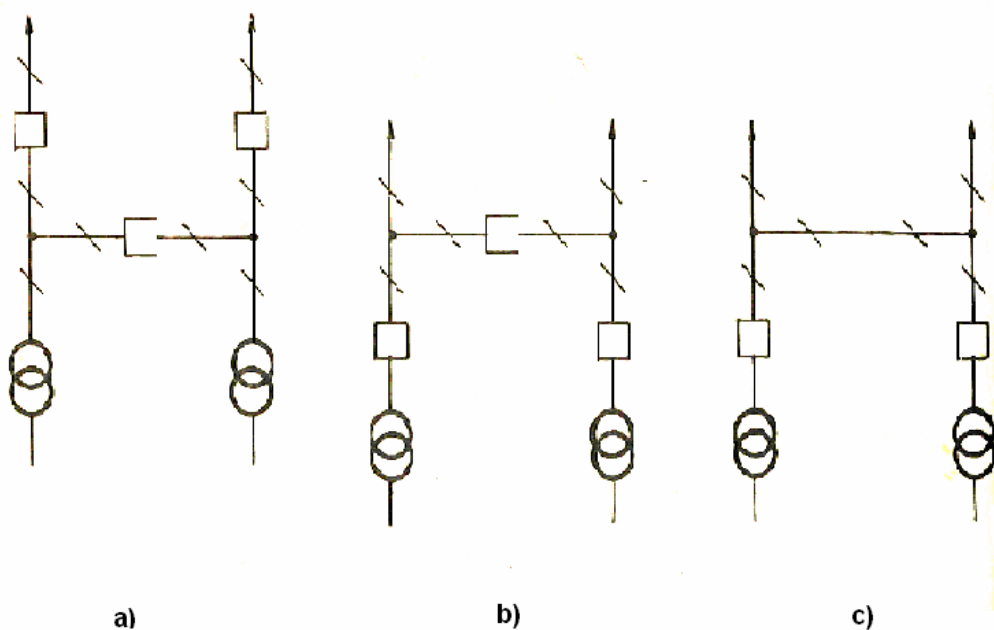
Jak již bylo zmiňováno, rozvodná zařízení pro napěťovou hladinu vvn jsou převážně budována venkovním provedením. Z těchto důvodů pro návrh vybavení (přístrojů, vodičů, nosné konstrukce apod.) musí být počítáno s odolností proti povětrnostním vlivům. Venkovní provedení je pro řadu výhod stále nejužívanější. Jeho největší kladné hledisko je v ekonomické úspoře při prvotní investici (stavební části) oproti halovému provedení, z dalších výhod jsou např. větší volnost návrhu, snadněji lze provádět změny na zařízeních nebo navýšení výkonu atd. Tato provedení mají také své nevýhody mezi ně patří velký nárok na zastavěnou plochu a větší nároky na údržbu. Obě tyto nevýhody lze řešit možností zapouzďených rozvodů, čímž se ale zase zvýší investiční náklady na výstavbu, což je v rozporu s prioritou ekonomické stránky. Pokud by bylo uvažováno o návrhu systému přípojníc, je rozdělení stejné jako v předešlé části obecného popisu elektrické stanice, pouze volba záleží na využití a potřebách připojení k elektrizační soustavě.

Provedení s přímými přípojnícemi je užito systému dvojitych přípojníc, popřípadě s pomocnou přípojnící a v případě potřeby více odboček se provádí podélné dělení a jedna z přípojníc je provedena do tvaru U.



Obr. č.2 Uspořádání přípojníc a polí s odbočkami
a) dvojitý systém s jednou přípojnicí do tvaru U a pomocnými přípojnicemi
b) dvojitý systém s pomocnou přípojnicí [1]

Další provedení je spíše pro malý počet odboček, větší uplatnění má např. pro uzlové stanice 400 kV a jedná se o systém s okružními přípojnicemi. Na rozdíl hojně užívaného systému bez přípojníc. Této varianty se užívá u méně důležitých distribučních trafostanic a také v průmyslu jako vstupní stanice. Bývá používáno provedení H, jenž dle potřeb, způsobu napojení a ekonomických prostředků lze měnit přístrojové vybavení uvedeno na obr. č.3. a) užívá se pro koncová vedení ; b) je užito v průběžném zapojení trafostanice a poslední ; c) je zjednodušená varianta.



Obr. č.3 Rozvodná zařízení bez přípojníc H schéma [1]

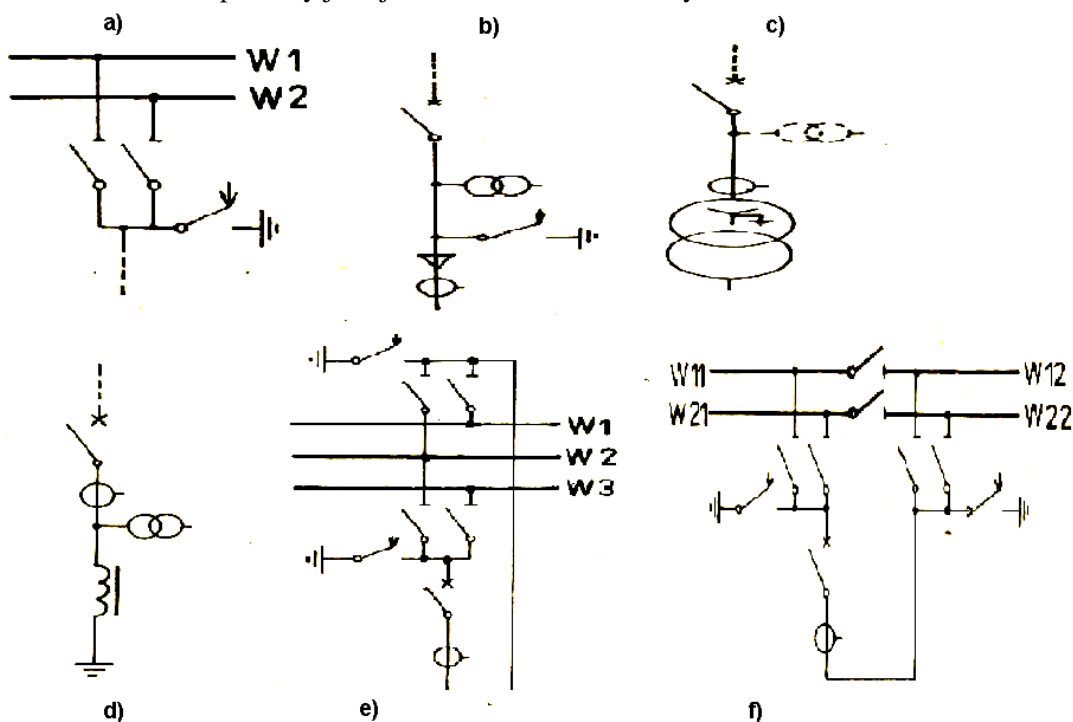
V této části nesmí být opomenuto také vybavení odboček rozvodných zařízení, které jsou u venkovního provedení umístěny do jednotlivých polí. U hlavních odboček jsou schémata s plnou výzbrojí, v některých případech může chybět vývodový odpojovač. Dále lze uzemňovací odpojovače nahradit přenosnými soupravami, které jsou dostatečně

dimenzovány. Vybavenost pomocných odboček, sloužících k sepnutí dvou přípojnícových systému k převodu odboček na druhý systém bez přerušení dodávky závisí na provedení spínání přípojníc, které může být příčné nebo podélné. U podélného spínání dělených přípojníc se provádí v převážné většině odpojovačem bez zátěže. Příklady schémat vybavenosti hlavních a pomocných odboček jsou znázorněna na obr. č.4.

- a) schéma znázorňuje vybavenost napojení odbočky na dvojitý systém přípojníc
- b) schéma odbočky pro venkovní vedení
- c) schéma odbočky pro transformátor se dvěma pracovními vinutími
- d) odbočka kompenzační tlumivky
- e) schéma pomocné odbočky příčného spínače přípojníc
- f) schéma pomocné odbočky pro sepnutí po dobu manipulace odpojovače podélného dělení

Uvedené příklady jsou jednou z mála možností vybavenosti odboček.

[1]

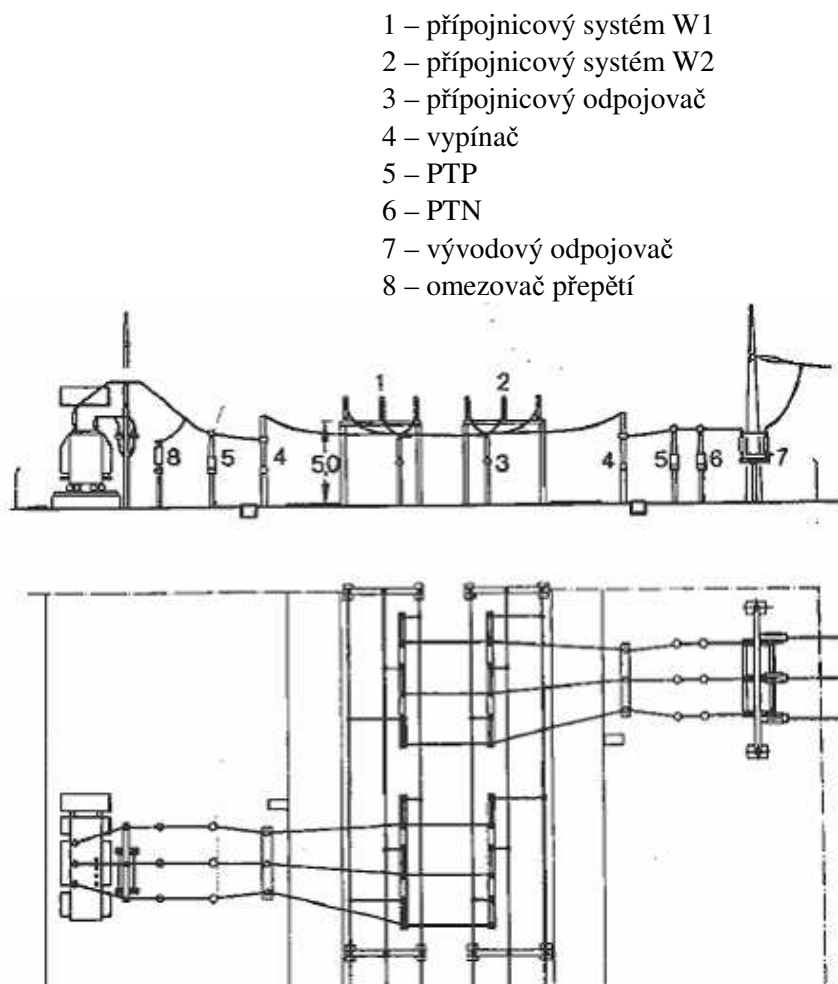


Obr. č.4 Schémata hlavních a pomocných odboček [1]

Další součástí rozvodného zařízení jsou kovové konstrukce s betonovými základy na nichž bývají umístěny přístroje. Provedení hlavních nosných konstrukcí u rozvodn s přímými přípojnícemi lze rozdělit na:

- klasické
- tandemové
- kýlová

Rozdíly mezi jednotlivými typy konstrukcí jsou v uchycení přípojníc, vodičů venkovního vedení, propojovacího vedení na nosnou konstrukci. Dále se liší také výškou konstrukcí u zvoleného typu a zastavěnou plochou. U elektrických stanic s přímými přípojnícemi pro 110 kV bývá nejčastěji použito kýlové provedení hlavní nosné konstrukce. Detailní popis obr. č.5



Obr. č.5 Kýlové uspořádání venkovní rozvodny vvn 110 kV [6]

2.2. Elektrické sítě

Elektrické sítě se skládají z galvanicky spojených částí stejného napětí. Mohou být rozděleny podle napěťových hladin na sítě:

- zvlášť vysokého napětí (dále zvn) – od 300 do 800 kV
- velmi vysokého napětí (dále vvn) – od 52 do 300 kV
- vysokého napětí (dále vn) – od 1 do 52 kV
- nízkého napětí (dále nn) – od 50 V do 1 kV

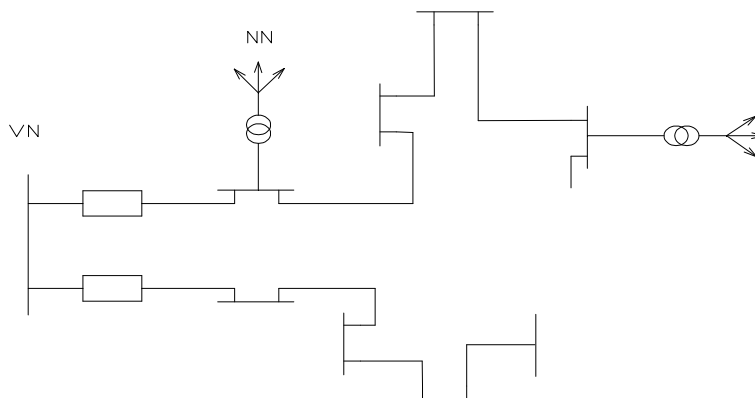
V ČR zajišťuje přenos elektrické energie, provoz, údržbu a rozvoj přenosové soustavy, dispečerské řízení přenosové soustavy firma ČEPS, a.s. Také technicky řídí systémové služby, jako je regulace výkonu a kmitočtu, regulace napětí a jalového výkonu a řídí potřebné výkonové rezervy. [12]

2.2.1. Elektrické sítě distribuční soustavy

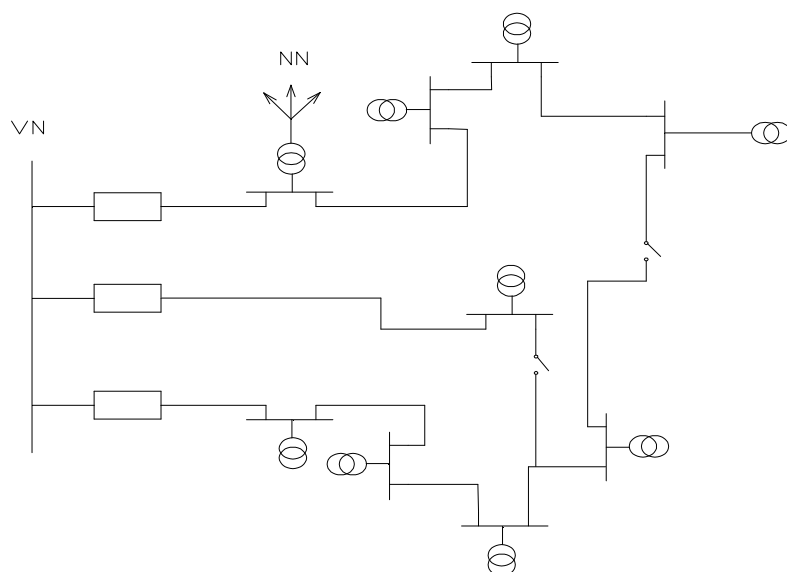
U rozvodných soustav může být hovořeno o elektrických sítích s napětovou hladinou v_{vn} – 110 kV, v_n – 35, 22, 10 a 6 kV a sítích s napětovou hladinou nn – 0,4 kV. Dle způsobu napojení z rozvodny jsou rozděleny distribuční sítě do skupin:

- Sítě paprskové fungují tak, že vedení jdoucí z rozvodny zásobuje jednotlivé odběry a každý paprsek je samostatný. Tento způsob je sice nejméně nákladný, ale jistota dodávky je nízká. Spíše se používá v méně zalidněných oblastech. Provedení tohoto způsobu sítě je na napětových hladinách nn , v_n a ve výjimečných případech na v_{vn} (obr. č.6).
- Sítě okružní, jsou tvořeny polosmyčkami tak, aby je bylo možné ve spínacích trafostanicích sepnout nebo rozepnout. Jsou sice nákladnější než paprskové, ale za to jsou provozně jistější. Jsou využity ve všech napětových hladinách distribuční soustavy (obr. č.7).
- Sítě mřížové, se převážně využívají u nn kabelových rozvodů pro napájení větších měst. Mřížová síť bývá napájena z více napáječů v_n (3-5 napáječů). Je ekonomicky velice náročná, ale z hlediska provozní jistoty bývá nejspolehlivější. Také může být u těchto sítích hovořeno o menších ztrátách a kolísání napětí.

[9][12]



Obr. č.6 Síť dle uspořádání paprsková [12]



Obr. č.7 Síť dle uspořádání okružní [12]

2.2.2. Elektrické sítě 110 kV

Všeobecně elektrická vedení mohou být provedena jako venkovní, kabelová nebo kombinací obou způsobů. Elektrické sítě 110 kV bývají převážně konstruována jako venkovní provedení. Výjimkou mohou být napojení rozveden v hustě osídlených městech a v průmyslových aglomeracích, kde je spíše použito kabelového provedení. Sítě 110 kV jsou provozovány s přímo uzemněným nulovým bodem. Při návrhu nových nebo rekonstruovaných elektrických vedení se požaduje od vedení:

- bezpečný provoz
- provozní spolehlivost
- přehlednost
- hospodárnost provozu
- možnost rozšíření rozvodů a modernizaci s další

Na začátku návrhu elektrického vedení je třeba zohlednit elektrické a mechanické nároky a také vliv okolí na vedení. Je vycházeno z okamžitých požadavků na vedení, ale nesmí se opomenout očekávaný nárůst spotřeby po celou dobu životnosti vedení. Výsledek by měl být takový aby při co nejmenších finančních nákladech vedení splňovalo spolehlivou a kvalitní dodávku elektrické energie. V první řadě se provádí návrh vedení po elektrické stránce jako např.:

- | | |
|---------------------|-----------------------------------|
| - provozní napětí | - přenosové ztráty |
| - proudové zatížení | - odolnost vůči zkratovým proudům |
| - úbytky napětí | - kompenzace účinníku apod.[1] |

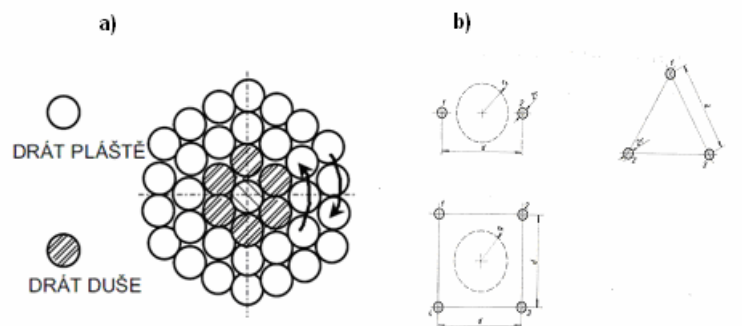
Pokud návrh elektrického vedení vyhověl požadavkům po elektrické stránce, přechází se na návrh mechanických a konstrukčních vlastností vedení. Náročnost konstrukčního a mechanického návrhu je u kabelových vedení velmi jednoduchá a proto se další část bude zabývat problematikou mechanického návrhu u venkovních vedení, která takřka u vedení 110 kV převládají. Při návrhu venkovního vedení je nutné brát v potaz vliv klimatických a také extrémních povětrnostních podmínek (např. námraza), které se podél celé trasy mohou značně měnit. Elektrická venkovní vedení se skládají ze 4 částí:

- základy
- stožáry
- vodiče
- izolátory a armatury

V začátcích mechanického návrhu vedení je třeba vypočítat zavěšení vodiče, které dále určuje rozmístnění stožáru v zadané trase a dimenzování ostatních prvků vedení. Tohoto výpočtu se docílí pomocí řetězovky. Jak již bylo dříve zmiňováno musí se také v mechanickém návrhu počítat s vlivem změn klimatických podmínek. Vliv změny teploty má za následek změnu délky vodiče a tím dochází i ke změně průhybu a namáhání vodiče. Dále vítr a námraza způsobují přidavné zatížení vodičů a nosných konstrukcí. Vedení se dá dimenzovat pomocí zpracovaných tabulek s rychlostmi větru dle výšky zavěšení vodiče. Obdobné je tomu u námrazy kde je zpracovaná mapka s oblastmi rozdělené podle výskytu intenzity námrazy. Poslední vliv počasí představuje bouřka, která však neovlivňuje přímo mechaniku jako spíše provoz elektrického vedení.

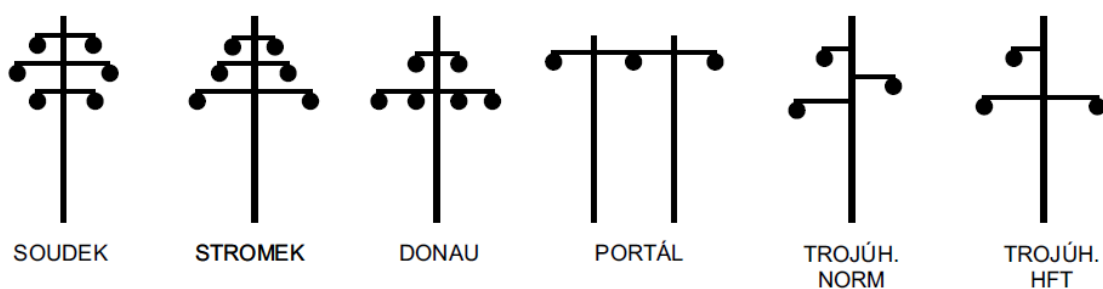
[1]

Vodiče pro venkovní elektrická vedení jsou voleny tak, aby pokud možno vyhověla jak elektrickým tak i mechanickým požadavkům, i když v mnoha případech jsou tyto požadavky protichůdné. Na elektrická venkovní vedení se používají lana, dráty a závěsné kabely. U vedení 110 kV jsou použita lana kombinovaná s označením AlFe, která se skládají z nosné části vyrobené z oceli a pláště, elektrovodná část (plášť) je vyrobena z hliníku. Číslo za označením udává poměr průřezu hliníku a oceli. Výjimečně se u napěťové hladiny 110 kV používá svazkových vodičů, které sice omezí vliv korony a mají oproti jednoduchým vedení menší provozní indukčnost a větší kapacitu, ale nevýhodou jsou větší investiční náklady a montážní náročnost. Na obrázku č.8 je znázorněno a) řez AlFe lanem ; b) způsob provedení svazkových vodičů.



Obr. č.8 Použité vodiče u venkovních vedení 110 kV [1]

Další částí venkovního vedení sloužící pro nesení vodičů jsou stožáry. Jsou základním konstrukčním prvkem a jejich tvar a rozměry závisí na provozním napětí, druhu a počtu fázových vodičů a zemních lan, profilu terénu, uspořádání vodičů a dalších kritérií. Uspořádání vodičů určuje provozní indukčnost a kapacitu vedení. Může být řečeno, že pro volbu typu stožáru je rozhodující výška stožáru, která je závislá na uspořádání, průhybu a dovolené vzdálenosti vodičů nad terénem. Při volbě stožáru se také musí vycházet k jakému použití v dané trase bude stožár určen, např. jako nosné, rohové, odbočné apod. Podle tohoto využití se musejí stožáry správně nadimenzovat. Dále jsou stožáry rozděleny podle použitého materiálu, kterým může být dřevo, beton nebo ocel. U vedení 110 kV je užíváno ocelových a nejvíce příhradových stožárů. Montáž stožárů je prováděna buď kompletně na zemi nebo se montují po částech. Také kovové konstrukce musejí být chráněné proti korozi. U ocelových stožárů je provedeno zemnění k zajištění ochrany proti nebezpečným dotykovým napětím a k omezení atmosférických přepětí ve vedení. Nejběžnější typy příhradových stožárů jsou uvedeny na obrázku č.9. Rozměry jsou pak dány v katalozích od výrobce. Od použití příhradových stožárů typu portál se v současné době odstupuje, neboť svým uspořádáním uchycení vodičů jsou příliš prostorné do stran a tím pádem je větší i ochranné pásmo vedení.



Obr. č.9 Typy příhradových stožárů pro venkovních vedení 110 kV [10]

K uchycení vodičů ke stožárům je použito izolátorů, které nesou a upevňují vodiče. Také izolují fázové vodiče od konstrukcí stožárů. Na izolátory jsou kladeny vysoké požadavky ve smyslu, že musejí odolávat jak mechanickým tak i elektrickým vlivům a také klimatickým podmínkám. Pro vedení 110 kV bývají používány závěsné izolátory tyčové, které jsou vyrobeny z tvrdého porcelánu s glazurou, nebo může být užito kompozitních tyčových izolátorů. Řetězce izolátorových závěsů pro tato vedení jsou opatřena ochrannými armaturami. Další armatury slouží například ke spojování vodičů, tlumení vibrací apod.

V poslední řadě je nutné se zmínit o základech stožárů, které musejí být dimenzovány a provedeny tak, aby nebyla ohrožena stabilita stožárů. U venkovních vedení 110 kV bývá použito dělených i celistvých základů. Stožáry se k betonovým základům upevňují buď přímým zabetonováním a nebo přišroubováním kotevními základovými šrouby. [1]

3. Legislativní rámec pro připojení odběru vvn

Základní podmínky pro připojení elektrického odběru byly uvedeny v zákoně č. 458/2000 Sb. O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon). Tento zákon je novelizován zákonem č. 211/2011, který upravuje v návaznosti na přímo použitelné předpisy Evropské unie o podmínkách podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství.

[2][12]

Pro výkon regulace v energetice je zřízen Energetický regulační úřad. Tento úřad rozhoduje o udělení, změně nebo zrušení licence, o regulaci cen podle zvláštních právních předpisů a jiné. Dále stanoví prováděcími právními předpisy požadovanou kvalitu dodávek a služeb v daném odvětví, podmínky připojení výroben, distribučních soustav, odběrných míst k elektrizační soustavě a další podmínky.

Dle energetického zákona č. 458/2000 Sb. se stanovují účastníci trhu s elektřinou na:

- výrobce
- provozovatele přenosové soustavy
- provozovatele distribuční soustavy (PDS)
- obchodníky s elektřinou
- operátora trhu
- konečné zákazníky

[12]

Citace z energetického zákona týkající se řešené problematiky. Vymezení některých pojmů dle Energetického zákona č. 458/2000 Sb..

- Přenosová soustava je propojený soubor vedení a zařízení o napětí 400, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV, včetně podpůrných systémů. Tato soustava slouží pro přenos elektřiny po celé ČR a je propojena elektrizačními soustavami sousedních států.

- Distribuční soustava je obdoba přenosové soustavy o napětí 110 kV a nižším určené pro distribuci elektřiny na vymezeném území v ČR. S výjimkou vybraných vedení a zařízení o napětí 110 kV určené do přenosové soustavy.
- Elektrizací soustavou se rozumí vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek, přímého vedení a podpůrných systémů.
- Elektrickou stanicí určujeme soubor staveb a zařízení elektrizační soustavy, který umožňuje transformaci, kompenzaci, přeměnu nebo přenos a distribuci elektřiny.
- Elektrickou přípojkou zařízení, které začíná odbočením od spínacích prvků nebo přípojníc v elektrické stanici a mimo ní odbočením od vedení distribuční soustavy směrem k odběrateli, a je určeno k připojení odběrných elektrických zařízení.
- Oprávněným zákazníkem fyzická či právnická osoba, která má právo přístupu k přenosové soustavě a distribučním soustavám za účelem volby dodavatele elektřiny.
- Konečným zákazníkem fyzická či právnická osoba, která odebranou elektřinu pouze spotřebovává.
- Odběrným místem se určuje odběrné elektrické zařízení jednoho odběratele, včetně měřících transformátorů, jehož odběr je měřen jedním měřícím zařízením nebo jiným způsobem na základě dohody.

[2][12]

Od 1. ledna 2006 jsou oprávněnými zákazníky všichni koneční odběratelé. Elektrická přípojka musí být zřízena a provozována v souladu se smlouvou a pravidly provozování příslušné distribuční soustavy. Vlastníkem přípojky je ten kdo uhradil náklady na její zřízení. Elektrická přípojka jiného než nízkého napětí končí při venkovním vedení kotevními izolátory na odběratelově stanici, při kabelovém vedení kabelovou koncovkou v odběratelově stanici.[12]

3.1. Provozovatel distribuční soustavy

Provozovatel distribuční soustavy zajišťuje spolehlivý provoz a její rozvoj. Dále umožňuje distribuci elektřiny na základě uzavřených smluv a také řídí tok elektřiny v distribuční soustavě při respektování přenosu elektřiny mezi ostatními distribučními soustavami a přenosovou soustavou ve spolupráci s ostatními provozovateli distribučních soustav nebo přenosových soustav.

[12]

Dále provozovatel distribuční soustavy má právo omezit nebo přerušit dodávku elektřiny v nezbytném rozsahu při bezprostředním ohrožení života, zdraví nebo majetku osob. Také tohoto práva může využít v dalších případech jako jsou:

- při stavu nouze nebo předcházení tohoto stavu
- při neoprávněné distribuci nebo odběru elektřiny
- při provádění plánovaných prací na zařízení distribuční soustavy
- při vzniku a odstraňování poruch na tomto zařízení
- při odběru elektřiny zařízením, které může ohrozit život zdraví osob, nebo zařízení která ovlivňují kvalitu elektřiny v neprospěch ostatních účastníků

[2]

Také má provozovatel právo v souladu se zákonem 183/2006 sb. (stavební zákon) zřizovat a provozovat na cizích nemovitostech svá zařízení a přetínat tyto nemovitosti a umisťovat vedení. S tímto související mají také právo vstupovat a vjíždět na nemovitosti za účelem výstavby, obnovou a provozováním zařízení distribuční soustavy. V rámci provozování tohoto zařízení PDS může odstraňovat a oklešťovat stromoví a jiné porosty ohrožující bezpečný a spolehlivý provoz distribuční soustavy, v případech kdy vlastník nebo uživatel neprovedl po upozornění nápravu sám.

PDS má samozřejmě další práva pro zabezpečení chodu distribuční soustavy, v předešlých odstavcích jsou zmiňovány pouze případy, které se mohou dotknout jakékoliv fyzické nebo právnické osoby v ČR. V souvislosti s právy řeší také energetický zákon povinnosti PDS a to při výstavbě nového zařízení ukládá za povinnost zřídit věcné břemeno s majitelem nemovitosti na umístění tohoto zařízení. Další povinností je bezprostředně oznámit majiteli pozemku vstup na jeho pozemek za účelem výstavby, obnovy, provozování distribuční soustavy nebo odstranění a okleštění stromoví. Po skončení prací je PDS povinen uvést nemovitost do předchozího stavu. V případě omezení nebo přerušení dodávky elektrické energie z důvodu plánovaných prací na zařízení distribuční soustavy má PDS za povinnost oznámit započetí a skončení omezení nebo přerušení způsobem v místě obvyklým a to nejméně však 15 dnů předem. Tato ohlašovací povinnost nevzniká v případech pokud se jedná o provozní manipulace, které nepřesáhnou omezení nebo přerušení delšího než 20 minut.

Jedna z důležitých povinností provozovatele distribuční soustavy je připojit k této soustavě každého a umožnit distribuci každému kdo o to požádá a splňuje podmínky připojení. Výjimkou je případ prokazatelného nedostatku kapacity zařízení ohrožení spolehlivého provozu. Dále PDS má i jiné povinnosti, pouze heslovitě uvedené ty nejdůležitější týkající se dané problematik:

- přerušit dodávku elektrické energie zákazníkům při neoprávněném odběru (žádost obchodníka nebo výrobce)
- zajišťovat neznevýhodňující podmínky všem účastníkům trhu jak pro distribuci tak i pro připojení
- v případě provozování zařízení s napětím 110 kV zajistit zřízení technického dispečinku
- jinou nezbytnou povinností je poskytovat provozovateli přenosové, a jiných distribučních soustav informace nezbytné k zajištění vzájemné spolupráce

Mimo těchto pár zmiňovaných povinností má PDS další úkoly jako např. informovat a zpracovávat údaje pro příslušné orgány, dodržovat parametry kvality dodávky, řídit se pokyny z technického dispečinku přenosové soustavy a jiné.

[2]

Podle § 25 odst. 3 Energetického zákona platí od 1. ledna 2007 podmínka, že provozovatel distribuční soustavy který má více než 90000 odběrných míst konečných zákazníků, nesmí být zároveň držitelem licence na výrobu, přenos a obchod s elektřinou.

Z důvodu této podmínky vznikly nové společnosti, které zabezpečují distribuci elektrické energie ke konečnému zákazníkovi dodnes. Mezi tyto společnosti patří ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s. a PRE distribuce, a.s. Tyto společnosti jsou podle energetického

zákona povinny zpracovat a po schválení Energetickým regulačním úřadem vydat a zveřejnit Pravidla provozování distribuční soustavy. [12]

3.2. Práva a povinnosti zákazníka

Některé práva a povinnosti zákazníka korigují s povinnostmi PDS. Zákazník smí uzavřít smlouvu na připojení k distribuční soustavě po splnění podmínek připojení stanovené Pravidly provozování distribuční soustavy (PPDS). Dále může nakupovat elektřinu od držitelů licence na výrobu nebo obchod s elektřinou. Má právo na dopravu dohodnutého množství elektřiny do odběrného místa za cenu určenou regulačním úřadem. Zákazník také může bezplatně měnit dodavatele elektřiny.

Naopak se musí řídit pokyny technického dispečinku distribuční soustavy a dodržovat PPDS. Umožní namontování a kontrolu měřicího zařízení. Další povinností zákazníka je udržovat svá odběrná elektrická zařízení odpovídajícím technickým normám a provádět opatření zamezující ovlivňování kvality elektřiny. Také se podílí dle odebíraného příkonu na nákladech spojenými s připojením svého zařízení a zajištěním požadovaného příkonu. V případě provozování vlastních náhradních zdrojů, pokud jsou propojeny se soustavou, smí zákazník provozovat pouze po dohodě s provozovatelem soustavy. [2]

3.3. Pravidla provozování distribuční soustavy

Pravidla provozování distribuční soustavy definují technické aspekty provozních vztahů mezi provozovatelem distribuční soustavy a všemi uživateli k ní připojenými. Legislativně doplňují Energetický zákon a k tomu související vyhlášky. Slouží jako ucelený materiál, obsahující všechny potřebné informace z hlediska provozu distribuční soustavy a souvisejících právních, technických a dalších podkladů. Tato ustanovení platí pro všechny provozovatele a uživatele distribuční soustavy a obsahují:

- plánovací a připojovací předpisy pro distribuční soustavu
 - provozní předpisy pro distribuční soustavu
- [12]

Plánovací a připojovací předpisy mohou nabídnout informace uživatelům o standardech dodávky elektřiny v distribuční soustavě, také informují o jejím rozvoji a o technických požadavcích týkajících se připojení uživatelů, které musejí splňovat. Dále umožňuje část pravidel příslušnému uživateli distribuční soustavy požádat PDS o seznámení s distribučními a výrobními kapacitami zařízení.

Provozní předpisy jsou obsahem provozních záležitostí, které ovlivňují uživatele a vyžadují jeho součinnost. V těchto předpisech se například vyskytují ustanovení o odhadech předpokládané poptávky elektřiny, o plánování odstávek distribuční soustavy nebo výroben, o hlášení provozních změn a událostí, o bezpečnosti zařízení DS a jiné. Informace pro provozovatele distribuční soustavy ze strany uživatelů jsou shrnuty v předpisech pro registraci údajů o soustavě a provozovatel je potřebuje pro plánování provozu a rozvoj DS.

Pro problematiku této práce je třeba rozebrat první částí a to zejména připojovací předpisy pro distribuční soustavu. Každé připojení žadatele je třeba posuzovat dle individuálních vlastností odběru. Podle místa připojení k napěťové hladině distribuční soustavy je již specifikována kategorie odběru. [4][12]

3.3.1. Všeobecné požadavky na připojení

K zajištění stejných požadavků na připojení uživatelů k distribuční soustavě slouží vyhláška ERÚ č.81/2010 Sb, kterou se mění vyhláška č. 51/2006 sb. (o podmínkách připojení k elektrizační soustavě). V této vyhlášce jsou obecně definovány postupy a podmínky pro připojení k elektrizační soustavě. Je zde definováno nejen připojení, ale také navýšení výkonu, změna charakteru a podobně. Na začátku připojení zařízení je podmínka podání žádosti o připojení, náležitosti o vyplnění žádosti jsou uvedeny v příloze č.2. V některých případech jako např. připojení zařízení k napěťové hladině VN a vyšší, si může vyžádat PDS zpracovat studii připojitelnosti. Žádost je posuzována PDS s ohledem na různá kritéria jako třeba místo a způsob připojení, velikost požadovaného rezervovaného požadovaného příkonu a jiné. Pokud žadatel o připojení dodá PDS všechny potřebné náležitosti je provozovatel distribuční soustavy u připojení k napěťové hladině 110 kV předložit žadateli do 60 dnů návrh smlouvy o připojení nebo návrh smlouvy o smlouvě budoucí o připojení (budoucí smlouva je v případě kdy připojení zařízení vyžaduje stavebně technická opatření při jejichž realizaci je zapotřebí územní souhlas nebo rozhodnutí o umístění stavby). Lhůta 60 dnů u námi sledované napěťové hladiny může být PDS prodloužena nejvýše o 30 dnů a to z důvodu ověření chodu sítě. Žadatel musí být o této skutečnosti informován. Naopak žadatel by měl do 60 dnů návrh přijat, pokud by tak neučinil zaniká mu rezervace příkonu nebo výkonu. Dále je žadatel povinen uhradit do 15 dnů po podpisu smlouvy nebo budoucí smlouvy o připojení zálohu na podíl na oprávněných nákladech ve výši 50% hodnoty podílu. Zbývající část doplatí před připojením odběrného místa až po realizaci potřebných úprav nebo nové výstavby distribuční sítě. V případě kdy žadatel požaduje zvýšení stupně spolehlivosti nad standard dodávky elektrické energie určený vyhláškou ERÚ č. 540/2005 Sb. hradí veškeré úpravy v plné výši.

[3]

Všeobecnými požadavky se specifikují charakteristiky odběru. Pro rozhodnutí o podmínkách připojení se musí doložit tyto základní údaje:

- adresa odběrného místa (popř. situační plánec)
- rezervovaný příkon
- charakter odběru – připojovaná zařízení
- požadovaná kvalita dodávky elektřiny
- datum k němuž je připojení požadováno

[4][12]

Tyto základní údaje stačí u odběrů ze sítě nn. Žadatel však může mít náročnější požadavky na kvalitu dodávané elektřiny z distribuční soustavy, které jsou stanoveny těmito charakteristikami napětí :

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí
- odchylky napájecího napětí
- rychlé změny napětí
- krátkodobé poklesy napájecího napětí
- krátkodobá přerušení napájecího napětí
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi vodiči a zemí odchylky napájecího napětí
- přechodná přepětí mezi vodiči a zemí
- nesymetrie napájecího napětí
- meziprocentová napětí
- harmonická napětí
- úroveň napětí signálů v napájecím napětí

Tato práce se zabývá problematikou připojení k napěťové hladině vvn a podrobnější informace k žádosti jsou uvedeny ve Standardech připojení zařízení k distribuční soustavě, které jsou přílohou PPDS. Dále je důležité podotknout, že provozovatel distribuční soustavy může odmítnout požadavek na připojení v těchto následujících případech:

- kapacita zařízení distribuční soustavy je v požadovaném místě připojení nedostatečná s ohledem na požadovanou kvalitu služeb a provozu.
- plánované parametry zařízení uživatele distribuční soustavy včetně příslušenství, měřících a ochranných prvků nesplňují požadavky příslušných technických norem na bezpečnost a spolehlivost provozu.
- plánované parametry zařízení a odebírané elektřiny ohrožují kvalitu dodávky ostatním odběratelům.

Odmítnutí požadavků z výše uvedených důvodů musí obsahovat technický návrh náhradního řešení a žadatel musí být informován o důvodu zamítnutí jeho žádosti. Návrh náhradního řešení může spočívat například napojením do jiné napěťové úrovně. U odběru ze 110 kV PDS po dohodě s uživatelem nachystá rozsah povinností a schéma sítě ve které jsou znázorněny dohodnuté hranice. [2][4][12]

4. Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě napěťové hladiny 110 kV

Připojení žadatele je navrhováno provozovatelem distribuční soustavy. Úprava popřípadě výstavba distribuční soustavy je navrhována tak , aby bylo dodrženo úroveň kvality dodávky elektrické energie, pokud možno co nejkratší cesta ke zdroji a měli by se minimalizovat celkové náklady na připojení. Způsob připojení je odlišný podle toho, ke které napěťové hladině distribuční soustavy bude odběrné místo připojeno. Daný problém se věnuje napěťové hladině vvn a tak napojení na distribuční soustavu může být řešeno dle provedení této soustavy:

- venkovním vedením
- kabelovým vedením

[3][4][12]

Připojení žadatelovy elektrické stanice je provedeno zasmyčkováním do stávajícího vedení nebo samostatným vývodem z rozvodny vvn. Při smyčkovém připojení je na napěťové hladině 110 kV provedeno napojení rozvodny typu H. Paprskového vývodu na dané napěťové hladině standardně není využíváno, pouze v ojedinělých případech.

Připojování odběrných míst k distribuční soustavě v lokalitách která jsou uzemním plánem měst a obcí určena k zástavbě jsou náklady na vybudování el. přípojky v režii provozovatele distribuční soustavy s podílem žadatele o připojení ve výši určené vyhláškou sbírky zákonů 81/2010 v příloze 6 této vyhlášky. Zde je tato příloha uvedena v tabulce č.1. V případě připojování výroby k přenosové nebo distribuční soustavě hradí vývodové vedení do místa připojení žadatel v plné výši. Úhrada podílu se po žadateli neuplatňuje v případě, kdy nedochází ke změně technických podmínek při změně konečného zákazníka ve stávajícím odběrném místě ve lhůtě do 12 měsíců.

Náklady na navýšení požadovaného rezervovaného výkonu jsou nezbytně nutné vynaložené náklady související s výstavbou nebo úpravami distribuční soustavy. Tato výstavba nebo úpravy distribuční soustavy jsou zajišťovány v nezbytně nutném rozsahu. Do nákladů dále patří náklady na pořízení projektové dokumentace, geodetická zaměření, věcná břemena a ostatní související investiční náklady a poplatky na výstavbu nebo úpravu distribuční soustavy. [12]

Tabulka č.1 Výše podílu žadatele dle napěťové hladiny [3]

Měrný podíl žadatele o připojení na nákladech spojených s připojením a zajištěním požadovaného příkonu nebo výkonu			
Odběrné zařízení			
Místo připojení k napěťové hladině		Způsob připojení	Měrný podíl žadatele
Přenosová soustava		Příkon	500 000 Kč/MW
		Výkon	200 000 Kč/MW
Distribuční soustava vvn	Typ A	Příkon	600 000 Kč/MW
	Typ B	Výkon	1 200 000 Kč/MW
Distribuční soustava vn	Typ A	Příkon	800 000 Kč/MW
		Výkon	640 000 Kč/MW
	Typ B1	Příkon	200 000 Kč/MW
	Typ B	Výkon	150 000 Kč/MW
Distribuční soustava nn		3 fázové připojení	500 Kč/A
		1 fázové připojení	200 Kč/A

Vysvětlení způsobů připojení jednotlivých typů:

- Typ A , jedná se o připojení kdy dojde k rozšíření distribuční soustavy až do předávacího místa.
- Typ B , jsou taková připojení, která nesplňují připojení Typu A
- Typ B1 , hovoříme o připojení kde není nutná výstavba nové kopky nebo přípojnice, jedná se pouze o úpravy a doplněním zařízení. [3]

Definování pojmů začátek a ukončení elektrické přípojky, z důvodu vymezení hranic vlastnictví, je následující. Za začátek přípojky je považováno odbočení od rozvodného zařízení DS. Toto odbočení je u provedení přípojky z elektrické stanice je bráno napojením na spínací prvek nebo přípojnicí. Ostatní případy jsou brány jako odbočení od venkovního nebo kabelového vedení. Ukončení přípojek u vedení vn a vvn pro venkovní provedení končí na kotevních izolátorech stanice odběratele. U kabelových vedeních končí kabelovou koncovkou v elektrické stanici.

Návrh přípojky velmi vysokého napětí vychází z velikosti připojovaného výkonu, konfigurace sítě v místě připojení a na požadavku stupně zabezpečení dodávky. Přípojky bývají řešeny buď přímým připojením z rozvodny vvn a součástí přípojky je vývodové pole včetně technologie, nebo zasmyčkováním vedení do odběratelské stanice, ale to spíše hovoříme o přímém připojení z distribuční soustavy. Pokud žadatel o připojení má požadavek na parametry dodávané elektrické energie převyšující standardní hodnoty lze pro zvýšení stupně zajištění dodávky připojit odběrné místo několika přípojkami z jedné nebo více rozveden 110 kV. [4]

Dále je třeba uvést podmínky pro umístění měřících zařízení, které sice přímo nesouvisí s podmínkami pro napojení odběrného místa, ale jsou nezbytnou nutností k tomu aby bylo zařízení uvedeno do provozu. U napěťové hladiny 110 kV je odběratel řazen do kategorie A. Rozdělení vlastnických práv měřících zařízení u sledovaného připojení k vedení 110 kV je takové, že měřící souprava a zařízení k přenosu dat je majetek PDS. Ostatní věci k měření jako např. měřící transformátory jsou majetkem a zajišťuje jejich montáž žadatel o připojení. Pro odběrné místo napájeno vedením 110 kV je použito primárního měření, kde měřící transformátory proudu (MTP) jsou osazeny ve všech fázích do přípojníc za podélné odpojovače. Měřící transformátor napětí (MTP) je osazen také na primární straně a má svoji samostatnou kobku. V tomto případě je použito třísystémového čtyřvodičového elektroměru. Podrobnější informace o umístění měřících zařízení jsou k dispozici u PDS. [7]

V další kapitole budou pro porovnání uvedeny standardy připojení odběrného místa z napěťové hladiny vn.

4.1. Standardy připojení odběrného místa k vedení vn

Napojení na distribuční soustavu může být řešeno dle provedení této soustavy:

- venkovním vedením, jedná se o úpravu vedení shodnou se stávajícím vedením a přípojka je provedena v místě podpěrného bodu buď venkovním nebo kabelovým vedením.

- kabelovým vedením, zasmyčkováním kabelového vedení nebo jedna přípojka z upravené stávající trafostanice.

Provedení koncového bodu přípojky vn je definováno ze způsobu připojení k distribuční síti takto:

- při smyčkovém zapojení, transformační stanice vn/nn mající na straně vn dvě místa připojení kabelových vedení.
- při paprskovém vývodu, transformační stanice vn/nn mající na straně vn jedno místo pro připojení napájecího vedení; pro napojení z venkovního vedení je to venkovní stožárová transformační stanice; pro napojení z kabelového vedení je to zděná trafostanice. [5]

Ukončení přípojek vn je definováno v těchto standardech u venkovního vedení končí přípojka na kotevních izolátorech odběratelovy stanice. Z toho jsou kotevní izolátory součástí přípojky. U kabelového vedení končí přípojka kabelovou koncovkou v odběratelově stanici. Kabelové koncovky jsou součástí přípojky. Přípojky vn provedené kabelovým vedením:

- zasmyčkováním kabelového vedení do vstupních polí rozvodny vn, v tomto případě se hranice vlastnictví a způsob provozování dohodne individuálně ve smlouvě o připojení (v tomto případě se nejedná o přípojku).
- provedením jedné kabelové přípojky ven z elektrické stanice vn PDS. Přípojka začíná odbočením od přípojnic vn ve stanici PDS. Součástí přípojky je technologie vývodního pole. Technologii vývodního pole určí PDS v připojovacích podmínkách, technologie musí být kompatibilní se stávající technologií stanice.

Nadstandardně v případě požadavku odběratele na zvýšený stupeň zabezpečení dodávky elektrické energie dvěma nebo více přípojkami, připojenými na různá kabelová vedení vn, nebo transformovny 110/22, 35 kV. Přípojky vn provedené venkovním vedením:

- jednou přípojkou odbočující z kmenového vedení
- jednou přípojkou odbočující z přípojnic rozvodny vn

Nadstandardní připojení u venkovního vedení v případě požadavku žadatele se provádí těmito způsoby:

- zasmyčkování okružního vedení do odběratelské stanice
- připojení dvěma nebo více přípojkami připojenými na různá venkovní vedení vn
- kombinace předešlých způsobů

Další podmínky, ohledně vybavení trafostanice z hlediska umístění měřících přístrojů, si určí každý PDS ve svých podmínkách k připojení. Upřesněné podmínky a požadavky jsou dále obsaženy ve smlouvě o smlouvě budoucí ke smlouvě o připojení.

[5][12]

5. Stávající napojení průmyslové zóny

V průmyslové zóně v současné době jsou napojeny tři trafostanice z napěťové hladiny vn 22 kV. Jedna z nich slouží jako distribuční trafostanice pro zásobování el. energie MOP z napěťové hladiny NN, zbývající trafostanice napájí průmyslové rozvody firem podnikajících v dané lokalitě. Napojení průmyslové zóny je zajištěno třemi vedeními vn 22 kV, která jsou napájena ze stejné rozvodny 110/22 kV Dluhonice.

Vedení vn č. 1872 a 1873 jsou určena pouze pro průmyslovou zónu. Na obr. č. 10 je červeně znázorněna trasa vedení, kde venkovní vedení je označeno plnou čarou a kabelové přerušovanou. Tato vedení, z hlediska konstrukční stránky, jsou kombinovaná, ale větší část trasy vedení je kabelového typu, provedena kabelem 3 x 1 x 240 AXEKVCEY. Vedení vn č. 45 je převážně distribučního charakteru a provedeno venkovním způsobem, na nějž je napojeno 85 trafostanic a slouží spíše jako záložní vedení v případě poruchy na obou průmyslových vedeních. Všechna tři vedení jsou zaústěna do jedné z průmyslových trafostanic s označením PR_9136, ze které je napojen největší odběr v průmyslové zóně.

Tato trafostanice byla vytvořena z kompaktního betonového systému určeného pro kabelová připojení. Trafostanice se skládá ze dvou majetkově rozdělených částí, které tvoří rozváděče vn s označením SM6. První část je tvořena třemi přívodními poli a podélnou spojkou sběren. Tato část je v majetku distributora el. energie, zbývající část v majetku odběratele. Trafostanice se napájí z průmyslové linky č. 1873, zbývající dvě linky jsou v rozepnutém stavu. Z této trafostanice jsou napojeny transformátory o výkonu 2x1000 kVA a 2x1600 kVA.

Druhá průmyslová trafostanice označena PR_9377 je umístěna v budově a napojena do rozváděčů vn typu IRODEL kabelovou smyčkou z průmyslové linky č. 1872. Z ní je napojen transformátor o hodnotě 630 kVA. Poslední trafostanice distribučního charakteru v průmyslové zóně je také napojena kabelovou smyčkou z linky č. 1872 přes vn rozváděče typu RM6. Trafostanice je postavena z betonového kompaktního systému a osazena transformátorem 160 kVA. V současnosti je v průmyslové zóně odebírán z obou linek činný výkon o velikosti 3,6 MW s tím že jedna z průmyslových trafostanic neodebírá plný rezervovaný výkon.

Současné průmyslové linky č. 1872 a 1873 byly upraveny a vyčleněny pro průmyslovou zónu na základě žádosti o navýšení výkonu. Bylo vybudováno nové kabelové vedení a použito stávající venkovní vedení AlFe 2x3x120/6, které obchází národní přírodní rezervaci Žebračka. Navyšování odběru v průmyslové zóně je u této varianty omezen přenosovou schopností vedení. Pro zajištění větších výkonů bude potřeba uvažovat o jiné variantě.



Obr. č.10 Mapa s vyznačeným stávajícím napojením z vn 22 kV

6. Přechod napojení průmyslové zóny na napět'ovou hladinu 110 kV

V předešlé kapitole je stručně popsán současný stav napájení odběru ve sledované lokalitě. Za předpokladu zvýšení průmyslu v dané zóně, které by mělo za následek větší odběr el. energie, jenž nelze již pokrýt z dané konfigurace sítě vn by přicházelo v úvahu přechod na vyšší napět'ovou hladinu. Po doložení všech potřebných dokladů a údajů uvedených ve vyhlášce č.81/2010 dle přílohy č. 3 a předložené studii připojitelnosti, může provozovatel distribuční soustavy provést definitivní návrh připojení průmyslové zóny a předloží žadateli nebo žadatelům návrh smlouvy o smlouvě budoucí o připojení.

Základem přechodu na vyšší napětovou hladinu je vybudování transformovny 110/22 kV. Napojení této transformovny na vedení 110 kV se bude odvíjet od požadavků žadatelů nebo žadatele na zabezpečení dodávky el. energie. Průmyslová zóna se nachází na okraji města Přerova mezi dvěma rozvodnami 110 kV Dluhonice a Prosenice. V rozvodně Dluhonice je ukončeno osm vedení vvn 110 kV a slouží jako distribuční transformovna 110/22 kV. Naopak Prosenická rozvodna je napájena z přenosové soustavy a je současně jak uzlovou transformovnou tvořící společný bod mezi přenosovou a distribuční soustavou, tak i je součástí distribuční transformovny 110/22 kV. V části rozvodny patřící do přenosové soustavy je napojeno celkem osm linek. Z toho čtyři jsou z napětové hladiny 220 kV a další čtyři z napětové hladiny 400 kV. Zbývající část rozvodny spadá do distribuční soustavy a je tvořena jak rozvodnou 110 kV tak i rozvodnou 22 kV. Pokračování bude věnováno vývodům na straně 110 kV, na něž je z rozvodny napojeno celkem sedm vedení vvn a je zde jedno vývodové pole jako rezervní.

Na obrázku č. 10 jsou v mapě pro danou oblast znázorněny stávající vedení 110 kV zelenou barvou s uvedenými čísly linek a jednotlivé navrhované možnosti napojení nově vybudované rozvodny 110 kV jsou zakresleny barvami červenou, modrou a fialovou. Bližší popis a návrh rozvodny spolu s návrhem vedení bude specifikován v následujících podkapitolách.



Obr. č.11 Mapa s vyznačenými možnostmi napojení transformovny 110/22 kV

6.1. Návrh transformovny 110/22 kV

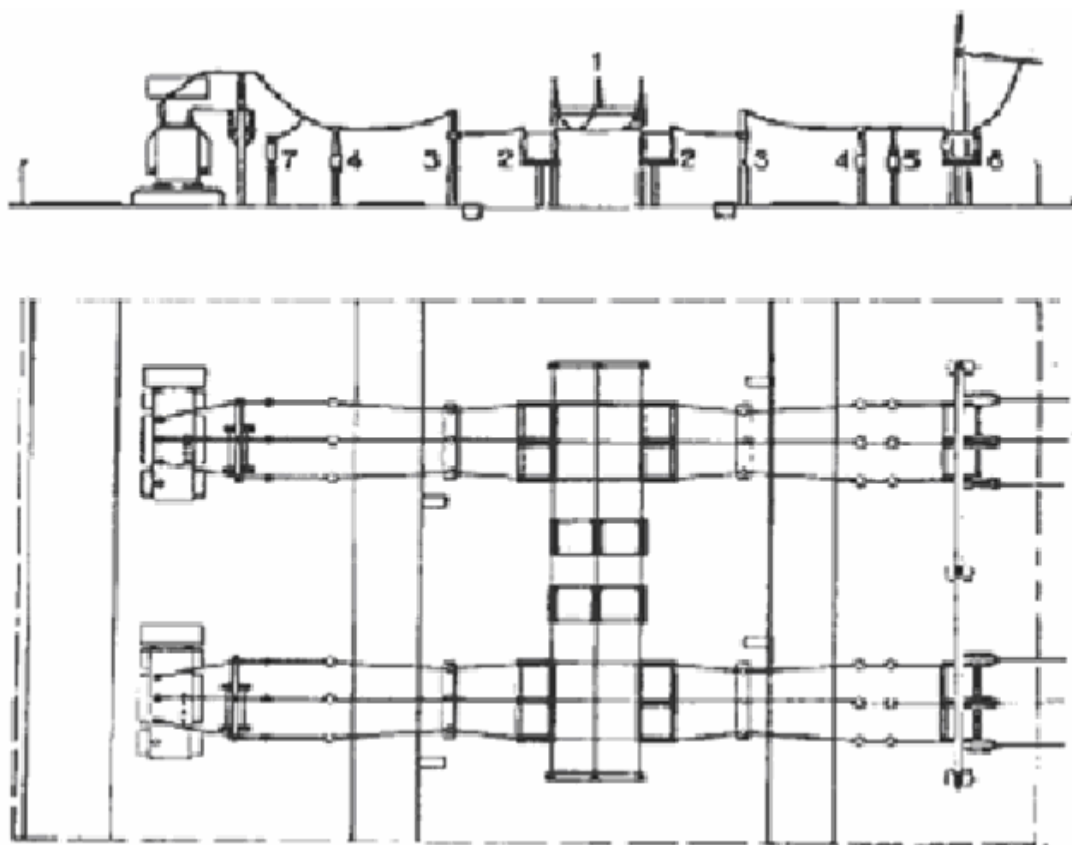
Na začátku návrhu transformovny 110/22 kV musejí být brány v úvahu dva základní aspekty, které jsou vzájemně ovlivňovány. Jedná se o výši investičních prostředků pro vybudování transformovny a druhým aspektem je zastavěná plocha a umístění transformovny. Pro danou problematiku je transformovna určena pouze pro napájení průmyslové zóny a nepředpokládá se další vývoj rozšíření průmyslu v okolní lokalitě a proto by přicházela v úvahu transformovna vvn bez přípojníc tzv. typu H. Dále se také musí přihlížet v jaké lokalitě se budované zařízení nachází vůči zvýšenému znečištění ovzduší, zejména výskytu prachu nebo popílku. V tomto případě by se musela transformovna řešit v krytém provedení a tím by došlo samozřejmě k navýšení investičních nákladů. Bude uvažováno se standardním znečištěním ovzduší a tak návrh transformovny bude směřován k venkovnímu provedení typu H. Jednopolové schéma s rozmístněním jednotlivých druhů přístrojů je uvedeno v příloze č.1. Při návrhu jakékoliv transformovny 110/22 kV můžeme tuto stanici rozdělit do čtyř základních prvků, které budou dále podrobněji popsány:

- rozvodna vvn
- rozvodna vn
- výkonové transformátory
- společná zařízení a části stanice

6.1.1. Rozvodna VVN

V této podkapitole bude blíže specifikováno složení přístrojů a provedení části vvn navrhované transformovny. Část vvn transformovny se skládá z následujících prvků a sled přístrojů je popisován od přípojnice obr. č. 12:

- 1 – přípojnícový systém
- 2 – přípojnícový odpojovač
- 3 – vypínač
- 4 – PTP
- 5 – PTN
- 6 – vývodový odpojovač s uzemňovačem
- 7 – omezovač přepětí



Obr. č.12 „H“ schéma venkovní vvn rozvodny 110kV bez systému přípojníc [6]

Další potřebnou částí na straně vvn jsou hlavní ocelové konstrukce (HOK). Do HOK patří vývodové portály včetně nástavby pro ukončení zemních lan, hrotové bleskosvody a také portálky přípojníc. V navrhované transformovně budou řešeny vývodové portály (také i vývody k transformátorům) pomocí příhradových stožárů o celkové výšce 14,5 metrů. Uchycení vodičů bude na vodorovné nosné konstrukci mezi stožáry ve výšce 10 metrů a fázová rozteč ukotvení vedení 2,5 metru, uchycení zemního lana na stožáru ve výšce 11,5 metrů. Zbývající část stožárů je použita jako bleskosvod. Ukotvení stožárů bude v monolitickém železobetonovém základě s hloubkou ukotvení 1 metr. U HOK zbývá popsat návrh portálků přípojníc, které jsou tvořeny stoličkami pod odpojovače přípojníc pro podélné dělení přípojníc a stoličkami pod podpěrné izolátory. Stoličky jsou provedeny jako přímopásové stožáry potřebného průřezu a bývají přichyceny pomocí chemických kotev v monolitickém základu. Návrh ocelových konstrukcí musí být přesně spočítán a dostatečně dimenzován v závislosti na délce připojení, fázových vzdáleností, materiálu vodičů, provozní teploty, dovoleného průhybu, prostředí, stupně znečištění a námrazové oblasti. Návrh pro všechny ocelové konstrukce rozvodny se zpracovává softwarem odborných firem.

Také je třeba zmínit, že vedle HOK je použito pomocné ocelové konstrukce (POK). POK je určena pro uchycení všech přístrojů a podpěrných izolátorů v polích, které budou instalovány a jejich zvýšením bude zajištěna ochrana před nebezpečným dotykem živých částí polohou. Uchycení POK bude provedeno přes chemické kotvy umístěné v železobetonových patkách. HOK a POK jsou vyrobeny z konstrukční oceli s povrchovou úpravou žárovým zinkováním a současně budou opatřeny ochranným nátěrem. Šířka polí bude max. 10 metrů. Okrajově bude zmíněno o uzemnění rozvodny 110 kV, které bude provedeno hlavní uzemňovací sítí (HUS) tvořenou pospojovanými

okruhy. Každý hlavní okruh bude zhotoven ze 3 pásků FeZn 30/4 mm. POK a HOK budou připojeny HUS také pomocí pásků FeZn 30/4 mm a to tak, aby byly napojeny na dvě nezávislé větve. Celá HUS musí odpovídat a bude provedeno v souladu s ČSN 33 2000-5-54, ČSN 33 2000-4-41.

U systému hlavních přípojníc bude zachována fázová rozteč 2,5 metru a budou provedeny ve tvaru trubek z materiálu AlMgSi 0,5 100/5, což znamená vnější průměr trubky je 100 mm a síla stěny je 5 mm. Propoje z přípojníc na odpojovače podélného dělení a přípojnícových odpojovačů a také propoje mezi jednotlivými přístroji v poli je navrženo lanem AlFe 350/59. Navrhované provedení přípojníc a propojů musí být ověřeno výpočtem na tepelné a dynamické účinky zkratových proudů, které se na zařízení mohou vyskytnout a při špatném dimenzování může dojít k poškození zařízení. Pro dynamické účinky zkratového proudu se vychází z tzv. zkratového nárazového proudu (i_p), který způsobuje největší silový ráz. Dále jak bylo zmiňováno musí se také provést kontrola na tepelné účinky zkratového proudu a to se posuzuje podle tzv. ekvivalentního oteplovacího proudu (I_{th}) a z něho lze dopočítat minimální průřez přípojníc a propojů.

Následující část se bude zabývat bližší specifikací přístrojů jejichž uspořádání bylo popsáno na začátku této podkapitoly. Rozdělení rozvodny 110 kV provedení H je na tři základní části a to dvě vývodová pole, dvě pole vývodu na transformátor vvn/vn a podélné dělení přípojníc. Každá tato část je jinak přístrojově vybavena. S popisem rozmístěných přístrojů bude postupováno jak bylo zmiňováno směrem od přípojníc.

Vývodová pole se skládají směrem od přípojníc :

- Trojpólový přípojnícový odpojovač (Q1), který může být proveden s póly vedle sebe nebo za sebou s horizontálním pohybem ramen např. typ 3 SHT-1216 od firmy SERW. Zapínání a vypínání odpojovačů je zajištěno elektromotorickým pohonem s možností ručního ovládání pohonu.



Obr. č.13 Přípojnícový odpojovač s provedením pólů vedle sebe a za sebou [13]

- Trojpólový vypínač se třemi samostatnými pohony pro každý pól (QM1). Vypínač obsahuje zhášecí komory s izolací SF₆ a je navrhnut na jmenovitý proud 3150 A s roztečí pólů min. 1,7 metrů. Pohon je také řešen elektromotoricky a navíc obsahuje pružinový strádač. Pohon má také možnost ručního ovládání. Typ vypínače např. LTB 145D1/B, SF₆, 123kV, 3150A od firmy ABB.

- Měřicí transformátor proudu a napětí mohou být montovány samostatně nebo jako kombinovaný přístroj např. EJOF 123 od firmy PFIFFNER s proudovým transformátorem v hlavě a napět'ovým ve vaně v podstavci. Konstrukčně jsou řešeny s porcelánovou nebo kompozitní izolací s vnitřním olejovým izolantem. Zatížitelnost u přístrojových transformátorů proudu by měla být 1,2 násobek jmenovitého proudu, kde připojitelný primární proud může být 300 – 600 A, 400 – 800 A dle dimenze přívodní linky. Sekundární proud je stanovena na 1A. Jmenovité převody napětí u přístrojových transformátorů proudů jsou dány $\frac{110000/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3} + 100/\sqrt{3}}$, přístrojové transformátory musí být navrženy tak, aby nedocházelo k přesycení jader průchodem zkratového proudu, které má za následek špatné zapůsobení ochran.



a)



b)

Obr. č.14 a) Trojpolový vypínač [14] b) Přístrojové transformátory proudu a napětí [15]

- Vývodový odpojovač s uzemňovačem (Q6+QE6) je obdobný jako přípojniový odpojovač doplněn zemními noži. Pohon pro tento přístroj je také elektromotorický jak pro odpojovač tak i pro uzemňovač.

Pole vývodu k transformátoru vvn/vn se z části skládá ze stejných přístrojů jako vývodové pole. Je zde použito stejného přípojniového odpojovače, to samé platí pro vypínač s výjimkou osazením vypínače s jedním pohonem pro všechny póly. Toto pole je dále osazeno pouze přístrojovým transformátorem proudu s připojitelným primárním proudem 150 – 300 A, 200 – 400 A dle výkonu transformátoru a zkratové odolnosti rozvodny. V této části je navíc osazen omezovač přepětí (FV1) na bázi ZnO. V každém z těchto polí lze použít podpěrných izolátorů s porcelánovou izolací.

Poslední částí je podélné dělení přípojníc, pro jednoduchou rozvodnu vvn ve tvaru H. Přípojnice je dělena dvěma odpojovači (Q11, Q12), které jsou v sérii. Toto zapojení je vhodné pro provádění údržby za provozu. Typy odpojovačů jsou shodné s již popisovanými vývodovými odpojovači.

Podle metodiky ČEZ Distribuce a.s. jsou hlavními technickými parametry venkovních rozvodů vvn v provedení H tato:

- rozvodná síť **TT (r)**
- nejvyšší provozní napětí **123 kV**
- jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulzu 1,2/50 **550 kV**
- jmenovité krátkodobé výdržné napětí při jmenovitém kmitočtu **230 kV**
- zkratová odolnost – tepelná (I_{th}) 1 sekunda **min. 31,5 kA**
- zkratová odolnost – dynamická (I_{dyn}) **min. 80 kA**
- min. jmenovitý proud přípojníc **800 A**
- min. jmenovitý proud silového propojení odboček **800 A**
- jmenovité napájecí napětí pohonů přístrojů **230/400 V AC**
- jmenovité ovládací napětí **110 V DC**

[8]

Hodnoty zkratových odolností a jmenovitých proudů jsou pouze doporučující a musejí se ověřit s ohledem na konfiguraci sítě, provozování sítě a skutečných zkratových poměrů. Při návrhu přístrojů se také musí počítat v jakých námrazových a znečištěných oblastech se rozvodna nachází. Průmyslová zóna se nachází v oblasti s výskytem lehké námrazy. Výšky a vzdálenosti vodičů mezi fázemi nebo mezi fází a zemí jsou dány normou ČSN333201. Hodnoty uvedené v metodice ČEZ Distribuce, a.s. jsou použity, protože z hlediska vlastnictví majetku rozvodny vvn mohou nastat různé varianty, v některých je část nebo celá rozvodna v majetku distributora el. energie a proto musejí být splněny dané požadavky.

V této části byl popsán návrh přístrojů a propojů rozvodny vvn v klasickém provedení. Je možnost využít i jiného způsobu, např. kompaktní provedení rozvodny vvn. Toho se využívá v místech, kde je rozvodna omezena prostorem. Tato kompaktní provedení lze rozdělit do tří druhů podle způsobu izolace:

- rozvodna se vzduchovou izolací, provedení je zaměřeno na soustředění všech silových prvků na jednu společnou konstrukci. Přípojnice jsou izolované vzduchem. Příkladem jsou rozvodny s výsuvným vypínačem.
- rozvodna s hybridní izolací, silové prvky jsou soustředěny do jedné nádoby naplněné plynem SF₆ a přípojnice jsou opět vzduchem chlazené.
- rozvodna s plynovou izolací, u které jsou silové prvky včetně přípojníc v plynotěsných tlakových nádobách s náplní SF₆.

Těchto variant při návrhu nebude dále použito, neboť v cenovém porovnání s klasickým provedením by byly nákladnější a v dané lokalitě není žádné prostorové omezení rozvodny. A také jedním z hlavních ukazatelů je finanční náročnost výstavby. Proto bude dále počítáno pouze s variantou klasického provedení rozvodny vvn.

6.1.2. Rozvodna vn

Jak bylo popsáno v kapitole 4 stávající napájení průmyslové zóny a popis transformoven vn/nn lze z tohoto hlediska vycházet, že rozšíření a úprava rozvodny vn v kterékoliv transformovně není možná a proto musí být počítáno s výstavbou rozvodny vn pro rozšířenou i stávající část průmyslové zóny. Rozvodny vn mohou být provedeny jako klasické venkovní, vnitřní kobkové provedení nebo skříňové rozvodny s izolací SF₆. V tomto návrhu bude použit způsob s vnitřním provedením skříňové modulární rozvodny, která bude umístěna v části budovy společných provozů (BSP). Moduly jde poskládat dle potřeby a výhodou tohoto systému je bezúdržbové provedení, minimální prostor, bezpečnost proti dotyku částí pod napětím, možnost dalšího rozšíření o potřebná

pole bez práce s plynem SF₆ a jiné výhody. Složení rozvodny vn je obdobné jako u rozvodu vvn. Skládají se z vývodových polí, z pole přívodu od transformátoru vvn/vn, z pole podélného spínače přípojníc, z pole vývodu na transformátor vlastní spotřeby. Některé rozvodny také mohou obsahovat pole pro měření napětí přípojníc, pole vývodu na HDO, pole příčného spínače přípojníc nebo pole podélného dělení přípojníc. Posledně jmenovaná pole je pouze u dvousystémových rozvodů, které jsou spíše určeny např. pro rozdělení provozu na dvě přípojnice k omezení zkratového proudu nebo z důvodu oddělení různých sítí (venkovní vedení od kabelového) a další důvody.

Navrhovaná rozvodna bude provedena s jedním systémem přípojníc, který je rozdělen podélným přípojnicovým spínačem na dvě části. Moduly jsou složeny z přípojnicového systému a kombinací potřebných přístrojů dle jejich určení. Použité přístroje jsou svojí funkcí shodné s přístroji na straně vvn jako např. vypínač, přípojnicový odpojovač s uzemňovačem, přístrojový transformátor proudu a napětí, omezovač přepětí a navíc odpínač s pojistkami a uzemňovačem v poli pro vývod na transformátor vlastní spotřeby. Výhodou modulárního způsobu provedení rozvodny vn je možnost doplnění dalšího počtu vývodových polí bez většího zásahu do stávajícího zařízení. Uspořádání jednotlivých přístrojů je blíže specifikováno v příloze č.2 na jednopólovém schématu navrhované rozvodny.

Rozvodna vn bude prozatím osazena 2 moduly pro přívod od transformátorů vvn/vn, 8 vývodovými poli, 1 polem vývodu k transformátoru vlastní spotřeby, polem podélného spínače přípojníc a měření napětí přípojníc. Podle metodiky ČEZ Distribuce a.s. jsou hlavními technickými parametry rozvodu vn tato, na které musejí být odolné zvolené přístroje:

- rozvodná síť **IT (r)**
- nejvyšší provozní napětí **25 kV**
- jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulzu 1,2/50 **125 kV**
- jmenovité krátkodobé výdržné napětí při jmenovitém kmitočtu **50 kV**
- zkratová odolnost – tepelná (I_{th}) 1 sekunda **25 kA**
- zkratová odolnost – dynamická (I_{dyn}) **63 kA**
- jmenovitý proud přípojníc **1250 - 2000 A**
- jmenovitý proud vývodové odbočky **630 – 1250 A**
- jmenovitý proud odbočky přívodu od transformátoru vvn/vn **1250 - 2000 A**
- jmenovité napájecí napětí pohonů přístrojů **230 V AC**
- jmenovité ovládací napětí **110 V DC**

[8]

Rozvodna bude navrhována na jmenovitý proud přípojníc přívodu od transformátoru vvn/vn 1250 A. Vývodové odbočky budou dimenzovány na proud 630 A. Moduly budou od výrobce SIMENS typ NXPLUS C. Možnou variantou je doplnění modulů o dálkové ovládání jednotlivých pohonů a rozvodna vn může být dálkově ovládána z dispečinku. Napojení ze silových transformátorů vvn/vn do přívodních polí rozvodny vn bude provedeno 3 kabely 22-CXEKVCEY 1x240 na fázi, které budou uloženy v kabelovém prostoru mezi stanovišti transformátorů a rozvodnou vn. Napojení transformátoru vlastní spotřeby bude provedeno kabely 22-AXEKVCEY 3x1x70.

6.1.3. Výkonové transformátory a uzlový odporník

Transformátory 110/22 kV budou umístěny v samostatných venkovních stanovištích, které budou zastřešeny. Pro návrh základů stanovišť transformátorů je zapotřebí nejdříve stanovit zda bude prováděna kompenzace kapacitního zemního proudu pomocí zhášecí tlumivky u rozvodny vn, která napájí venkovní nebo smíšená vedení a nebo bude-li použito uzlového odporníku k omezení přepětí vzniklé zemním spojení pouze v kabelových rozvodech. V tomto návrhu bude předpokládáno, že z transformovny bude vyvedeno pouze kabelové vedení vn. Dále je také zapotřebí rozhodnout, jestli zvolené kompenzační nebo omezovací prvky budou připojitelné k libovolnému transformátoru, nebo budou použity pouze k příslušnému transformátoru. Pro tento návrh bude počítáno s variantou použití uzlového odporníku s tím, že jej bude moci připojit k libovolnému transformátoru. Z tohoto důvodu budou pro odporník vybudovány samostatná krytá stání. Stání pro odporníky bude vybudováno z betonových patek a uchycení konstrukce je provedeno přes chemické kotvy. Základy stání pro výkonový transformátor budou provedeny z železobetonu a vrchní část bude osazena kotevními prvky kolejnic. Kolem základů bude provedena záchytná a havarijní jámka. Obvodové zdi budou provedeny jako protipožární stěny.

Transformovna vvn/vn bude osazena třífázovým olejovým regulačním transformátorem s třemi vinutími 110 $\pm 8 \times 2\% / 22 / (6,3)$ kV o výkonu 25 MVA. Transformátor bude chlazen přirozeným průtokem oleje přes radiátory tzv. systémem ONAN. Regulace napětí bude prováděna na straně 110 kV pod zatížením pomocí přepínače odboček, který může být ovládán místně nebo i dálkově. Transformátor bude také vybaven přírubou pro připojení filtrační stanice a zařízením pro vysoušení vzduchu. Minimální součástí transformátoru budou tyto ochrany:

- Dvoustupňové plynové relé na nádobě (Buchholz)
- Jednostupňové plynové relé na regulaci
- Tlakové relé na nádobě
- Tepelná ochrana

Také je třeba se zmínit o dalších ochranách transformátoru jako např. nezávislé nadproudové nebo distanční, rozdílové a hlavně o nádobové (kostrové) ochraně a vybavení k této ochraně sčítacím transformátorem proudu. Napojení primární strany transformátoru bude realizováno lanem AlFe 350/59. Napojení bude navazovat na pole vývodu transformátorů rozvodny vvn přes HOK, lana budou uchyceny na podpěrných izolátorech, které jsou umístěny na POK. Sekundární vývod do rozvodny vn bude řešen přes průchodky transformátoru napojením AlFe lana na holé pásoviny Al a z nich budou odcházet již popisované kabely. Dále na vývodech do rozvodny vn nesmí být zapomenuto na omezovače přepětí umístěné v každé fázi.

Ještě je třeba se okrajově zmínit o uzlovém odporníku. Jedná se o jednofázový, vzduchem izolovaný uzlový odporník. Odporník je vybaven dvěma měřicími transformátory proudu pro nadproudovou a kostrovou ochranu. Silová propojení od transformátorů a mezi stanovišti odporníků budou provedeny přes jednopólové odpojovače kabely 22-CXEKVCEY 1x240 s venkovními kabelovými koncovkami. Jednopólové odpojovače jsou navrženy na jmenovitý proud 400 A .



Obr. č. 15 Uzlový odporník a transformátor vvn/vn [16][17]

6.1.4. Ochrany, společná zařízení a části stanic

Každá rozvodna musí být zajištěna proti poškození používaných strojů a přístrojů. Ne jinak tomu bude při návrhu transformovny 110/22 kV, kde bude spíše poukázáno na ochrany v rozvodně vvn. Pro navrhovaný typ rozvodny 110 kv lze druhy ochran rozdělit na dvě části. První část jsou ochrany určené pro vývodová pole směrem k vedení a mezi tyto ochrany patří distanční a nadproudová. V druhé části jsou ochrany výkonového transformátoru a kromě již zmiňovaných ochran, které jsou přímo umístěné na transformátoru, jsou dále využívány ochrany rozdílové, nadproudové z primární i ze sekundární strany transformátoru a také nádobové ochrany. Propojení jednotlivých ochran s použitými přístroji bude uloženo v kabelových kanálech, které budou vybudovány k jednotlivým přístrojům a také bude vybudován hlavní kabelový kanál mezi budovou společných provozů (BSP) a rozvodnou.

Poslední zmiňované části spíše spadají do stavební části transformovny jako ostatní a mezi ně patří příprava území, stavební část rozvodny 110 kV, stanoviště transformátorů, BSP, zpevněné plochy a vnitřní komunikace, oplocení a přivedení inženýrských sítí do BSP, uzemnění rozvodny. O některých částech již bylo zmiňováno v předchozích podkapitolách. Jiné budou následně specifikovány.

Inženýrskými sítěmi se rozumí vybudování dešťové a splaškové kanalizace, vodovodní přípojky a popřípadě i telefonní přípojky. Tyto sítě kromě telefonní přípojky musejí být vyhotovené, aby byl dodržen stavební zákon a tím podmínky pro kolaudaci daného objektu, potřebné pro uvedení zařízení do provozu. Další stavební částí je vybudování vnitřní a příjezdové komunikace. Jejich šíře a konstrukční skladba bude navržena pro přepravu transformátorů vvn/vn. Vnitřní komunikace by však měla mít min.

šíři 3 metry a před stanovištěm transformátorů min. šíře 6 metrů. Také musí být zabezpečeno ochranou proti přístupu nepovolaných osob, což je provedeno oplocením. Také je třeba se zmínit o vnějším osvětlení daného prostoru v případě manipulace nebo poruchy při snížené viditelnosti.

Budova společných provozů bude částečně podsklepená jednopodlažní se sedlovou střechou. V této budově se budou nacházet zabezpečovací a provozní zařízení potřebná k chodu transformovny. V BSP jsou vyčleněny místnosti pro daná zařízení:

- místnost řídicího systému, ve které jsou soustředěny centrály řídicího systému, a také skříně ochrany jednotky regulátorů transformátorů.
- místnost rozvodny vn, bude uzpůsobena na osazení skříňových rozváděčů vn a v této části místnosti bude vybudován průchozí kanál. Také musí být zajištěno odvětrávání v případě úniku plynu SF₆.
- místnost vlastní spotřeby, zde budou umístěny rozváděče nn pro vlastní spotřebu, usměrňovače, střídače.
- místnost stání transformátoru vlastní spotřeby, bude přístupná z venku a situována tak, aby byla snadná výměna transformátoru při poruše.
- místnost akumulátorovny, jak je patrné z názvu zde budou uloženy baterie, které slouží jako záložní zdroj v případě havárie. Místnost bude odvětrávána a popřípadě vytápěna.
- místnost VF, pro osazení přenosového zařízení pro dispečerského řízení
- místnost pro uložení OOPP, je určena pro uskladnění zkratovacích souprav, vyprošťovacích háků a ostatních osobních ochranných pracovních pomůcek, popřípadě jsou zde také umístěny hasicí přístroje
- místnost pro uložení nářadí a ostatního pomocného materiálu
- místnost sociálního zázemí

[8]

Vlastní spotřeba této navržené transformovny je řešena napájením ze dvou nezávislých zdrojů. Transformátor pro vlastní spotřebu, bude připojen přímo z rozvodny vn a druhé záložní napájení bude z nezávisle linky. Příkladné situování jednotlivých místností v BSP a rozměry této budovy jsou uvedeny a vyznačeny v příloze č. 3.

6.2. Náklady na výstavbu transformovny 110/22 kV

Do investičních nákladů pro výstavbu nové transformovny se musejí započítat nejen finanční investice na vybavení elektrických strojů a přístrojů, ale také stavební objekty a úpravy. Proto budou vyčíslené náklady podle jednotlivých souborů, které jsou rozděleny na stavební a provozní soubory. Cena u stavebních souborů zahrnuje kompletní dodávku prací, materiálu a ostatních nákladů. U provozních souborů je cena rozdělena na materiál a práci. V celkové ceně transformovny není započtena odkupní cena pozemku a cena za vypracování projektové dokumentace a souvisejícími náležitostmi. Upřesňující náklady jsou uvedeny v tab. č. 2 .

Tabulka. č. 2 Rozpis nákladů na výstavbu transformovny 110/22 kV

REKAPITULACE NÁKLADŮ v tisících Kč		
Stavební soubory (SO)		
SO 01 Příprava území		7 067
SO 02 Zemní práce + základy		16 039
SO 03 Stanoviště transformátorů 110/22 kV a tlumivek		7 622
SO 04 BSP		14 550
SO 05 Uzemnění		265
SO 06 Osvětlení rozvodny 110 kV a přístupových cest		1 350
SO 07 Oplocení		2 317
SO 08 Kanalizace		3 603
SO 09 vodovodní přípojka		318
SO 10 Zabezpečení		716
SO 11 Komunikace a zpevněné plochy		4 800
Celkové náklady na SO		58 647
Provozní soubory (PS)		
PS 01 HOK	Práce	3 047
	Materiál	1 251
PS 02 Rozvodna 110 kV	Práce	2 676
	Materiál	12 909
PS 03 Výkonový transformátor 110/22 kV	Práce	1 980
	Materiál	32 040
PS 04 Kompenzace uzlu 22 kV	Práce	619
	Materiál	2 672
PS 05 Rozvodna 22 kV	Práce	695
	Materiál	7 840
PS 06 Ochrany a řídicí systémy	Práce	1 560
	Materiál	8 969
PS 07 Vlastní spotřeba	Práce	580
	Materiál	2 264
Celkové náklady na PS		79 102
Celkové náklady stavby		137 749

6.3. Varianty napojení transformovny 110/22 kV na DS 110 kV

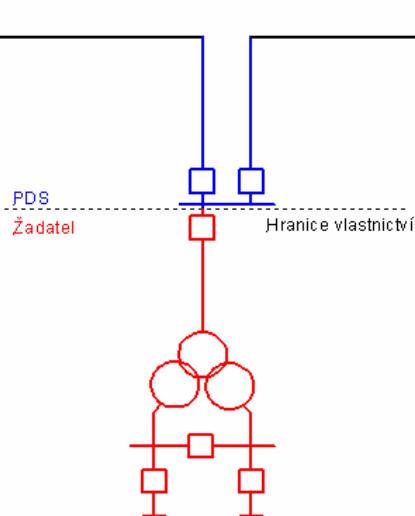
Způsob připojení nové transformovny na distribuční soustavu vedení 110 kV je závislý na požadavcích žadatele o zabezpečení dodávky el. energie. Jak dříve bylo již znázorněno pro tuto volbu nové transformovny se naskýtají tři možnosti připojení DS. V zásadě všechny tři možnosti znamenají vybudování nového vedení 110 kV k transformovně. Jednotlivé varianty se liší ve způsobu zabezpečení dodávky el. energie. Dalším rozdílem variant je způsob financování výstavby nového vedení a popřípadě i transformovny. Investice do výstavby nového zařízení mohou jít za PDS, za žadatelem o připojení a nebo mohou být tyto dvě varianty v kombinaci. Ve všech třech případech se však žadatel nevyhne zaplacení měrného podílu na oprávněných nákladech dle přílohy č. 6 k vyhlášce č. 81/2010.

6.3.1. Varianta č. 1 napojení transformovny 110/22 kV

V této variantě by přicházelo v úvahu zasmyčkování linky č. V 571. Jednalo by se o umístnění transformovny mezi dvě rozvodny vvn a to mezi rozvodnu v Prosenicích a rozvodnu Rychlov. Vedení mezi rozvodnami je provedeno jako jednoduché z vodiče AlFe 3x210/3 uchycených na stožárech typu jednoduchý trojúhelníkové uspořádání. Odbočení od hlavní linky bude ze stožáru č. 18 ve vzdálenosti 4,4 km od rozvodny Prosenice a 13 km od rozvodny Rychlov. Současný stožár bude nahrazen novým, který bude dimenzován na ukončení průběžného vedení a odbočení. Navrhované odbočení od tohoto vedení k transformovně bude provedeno vodičem AlFe 240/6, neboť řada vodiče AlFe 210/3 se na vedení nedoporučuje a přestává se běžně vyrábět. Volba vodiče AlFe 240/6 byla zvolena pro zachování přenosové schopnosti. Délka trasy mezi hlavním vedením a transformovnou je 4,5 km. Vodiče budou zavěšeny pomocí nosných nebo kotevních závěsů, které mohou být jednoduché nebo dvojité. Závěsy jsou přichyceny ke stožárům typu Soudek a bude určen pro obě vedení. Výška stožárů v celé trase odbočení bude uvažována stejná, neboť zkoumané území se nachází v rovinné oblasti. Na fázové vodiče budou namontovány tlumiče vibrací. Uzemnění stožárů bude popřípadě doplněno páskovými zemniči, pokud po změření zemního odporu jednotlivých stožárů nebude vyhovovat zpravidla 15Ω dle ČSN EN 50341-3-19. Počet stožárů bude upřesněn rozmístněním a výpočtem. Součástí vedení bude také montáž zemního lana umístněné na vrcholu stožáru a vodič spojeno přes konstrukci se zemí. Toto lano bude také provedeno vodičem AlFe a slouží k ochraně vedení před přímým zásahem blesku do fázových vodičů. Ochranný úhel zemního lana je dán do 30° .

Jak bylo již zmiňováno z hlediska finančních investic do výstavby vedení a transformovny, mohou u tohoto typu napojení vzniknout dva případy. První případ by znamenal financování celé výstavby PDS a pak by se jednalo o distribuční síť ve smyslu posílení průmyslové zóny odběrů z napěťové hladiny 22 kV. Druhým případem je podílení financování výstavby z části žadatelem a z části PDS. Odběr by byl v tomto případě z napěťové hladiny 110 kV. Vedení vvn a část rozvodny vvn by byla v majetku PDS a zbývající část rozvodny by byla v majetku žadatele. Hranice vlastnictví je vyznačena na obr. č. 16 a přesnější rozdělení v rozvodně vvn je uvedené v jednopólovém schématu v příloze č. 4.

Připojení smyčkou vvn

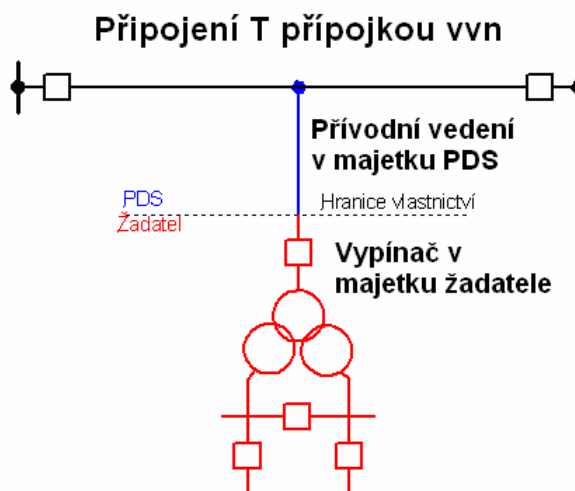


Obr. č. 16 Znáznornění hranice vlastnictví u připojení smyčkou vedení vvn [18]

6.3.2. Varianta č. 2 napojení transformovny 110/22 kV

Druhou variantou bude pro názorný příklad uvedené napojení z jiné linky vvn a připojení transformovny bude odbočením tzv. způsobem T. Transformovna bude připojena na dvě linky vvn č. V 581 a č. V 582. Toto vedení slouží jako napájecí mezi rozvodnou Prosenice a Dluhonice. Tyto linky jsou provozovány jako dvojité vedení na společných podpěrných bodech. Vodiče AlFe 6x450/6 jsou uchyceny na stožárech typu Soudek. Vzdálenost rozvoden mezi sebou po vedení činí 10 km. Nejvhodnější odboční z páteřního vedení je ze stožáru č. 18, který musí být vyměněn. Délka odbočení po transformovnu v této variantě je 6,3 km. Vodiče pro srovnání jednotlivých variant budou navrženy stejné jako ve variantě č.1. Volba stožárů je stejná jako v předešlé variantě typ Soudek a výška může být také zachována stejná, neboť se trasa nachází v přibližně stejném místě v rovinné oblasti. Pouze se musí počítat na začátku odbočení, že trasa navrhovaného vedení křížuje elektrifikovanou trať železnice a silnici druhé třídy. Z tohoto důvodu musejí být navrženy vyšší stožáry pro dodržení vzdáleností při křížování. Minimální vzdálenosti při křížení železniční dráhy je 12 metrů od hlavy kolejnic a u silnice první až třetí třídy standardní vzdálenost 6 metrů. Dále stavba by byla zřizována a provozována v ochranném pásmu dráhy a proto musejí být splněny podmínky uvedeny v zákonu o drahách.

Jak bylo zmiňováno v předešlé variantě z hlediska financování výstavby mohou být zde také dva způsoby. O způsobu celkové úhrady finančních nákladů výstavby PDS se dále nebude hovořit. A druhý způsob dá se říci, že je obdobný jako u předešlé varianty s částečným podílem žadatelem a PDS na výstavbu. Rozdíl je pouze v rozsahu výstavby ze strany PDS. Vlastnické hranice jsou zde určeny kotevními izolátory na HOK rozvodny vvn. Výstavbu vedení zajišťuje a pak dále je ve vlastnictví PDS a výstavba celé transformovny 110/22 kV je v režii žadatele. Příkladné rozdělení viz obr. č.17.



Obr. č. 17 Znáznornění hranice vlastnictví u připojení T přípojkou vvn [18]

6.3.3. Varianta č.3 napojení transformovny 110/22 kV

Tento způsob provedení připojení transformovny je z hlediska investičních nákladů plně hrazen žadatelem o připojení. Tato varianta je navržena na základě požadavku žadatele o připojení nad standardní rámec zabezpečení dodávky el energie. Žadatel

provede výstavbu vedení a transformovny na své náklady. Součástí přípojky je vývodní pole a jeho vybavení technologií, která je v koncepci s technologií použitou v zařízení PDS. Přípojka je brána již od odbočení z přípojníc 110 kV v rozvodně.

Přípojka bude provedena z rozvodny Prosenice jako dvojité vedení umístěné na stožárech typu Soudek. V rozvodně 110 kV jsou nachystány základy na dvě vývodová pole, pouze se vybaví potřebnými přístroji. Vodiče vedení jsou navrženy také typu AlFe 6x240/6. Délka vedení mezi rozvodnami je 8,9 km a trasa tohoto vedení je navržena v souběhu s vedením V 571 až k podpěrnému bodu č. 18 a dále by vedení pokračovalo v trase napojení nové transformovny dle varianty č. 1. Výzbroj stožárů a osazení zemním lanem v této a předešlé variantě je stejné jako v popisu u prvního navrhovaného způsobu.

6.4. Návrh vedení 110 kV pro napojení transformovny

Pro všechny varianty budou zadány stejné podmínky na posouzení a volbu nejvhodnějšího způsobu napojení transformovny 110/22 kV pro průmyslovou zónu. Bude předpokládán přenášený výkon $P_n = 20 \text{ MW}$ s účinnkem $\cos \varphi_n = 0,95$. Dovolенý úbytek napětí bude v toleranci $\Delta U = \pm 10 \%$. Dále také bude počítáno se stejnou vzdáleností mezi stožáry a ta bude stanovena na max. dovolený průhyb vodiče, aby byla dodržena min. vzdálenost od země. Tato vzdálenost je dána minimální hodnotou 6 metrů. Bude také uvažován vliv námrazy, neboť lokalita se nachází v námrazové oblasti N1 (lehká do 1 kg). Pro názorný příklad jak bylo zmiňováno bude uvažována stejná výška stožárů. Pouze u varianty č. 2 budou zvoleny vyšší stožáry pro přechod přes železnici. Návrh a rozmístění stožárů je velice složitý a musí být provedeno spoustu výpočtů na správné dimenzování. Tohle vše by řešil až projekt navrhovaného vedení. V následujících podkapitolách budou provedeny jednoduché výpočty na elektrické a mechanické parametry vedení. Při výpočtech mechaniky vedení nebude uvažováno s vlivem větru na vodiče a stožáry.

6.4.1. Návrh vedení vvn varianta č.1

Jak bylo uvedeno v předešlé kapitole pro návrh vedení bylo zvoleno dvojité provedení (zasmyčkování) na příhradovém stožáru typu Soudek s vodiči AlFe 6x240/6. Avšak musí být počítáno, pro výpočet dovoleného úbytku, se stávajícím vedením. Vedení V 571 slouží v současné době jako propoj mezi dvěma DS. Na tomto vedení není žádná zátěž a tím by bylo zatíženo odběrem průmyslové zóny.

Výpočet elektrických parametrů:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 110,5 \text{ A}$$

$$I_\epsilon = I_n \cdot \cos \varphi = 110,4 \cdot 0,95 = 105 \text{ A}$$

$$I_j = I_\epsilon \cdot \tan \varphi = 105 \cdot 0,329 = 34,5 \text{ A}$$

Maximální dovolený úbytek napětí:

$$\Delta U_n = \frac{U_n \cdot \Delta U_{dov\%}}{\sqrt{3} \cdot 100} = \frac{110 \cdot 10^3 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 100} = 6351 \text{ V}$$

Vedení má tyto parametry .

Tabulka. č. 3 Parametry vedení a AlFe lana[11]

Parametry venkovního vedení 110 kV					
	Vodiče AlFe (mm ²)		R _(l)	X _(l)	B _(l)
Provedení		Stožáry	(Ω.km ⁻¹)	(Ω.km ⁻¹)	(μS.km ⁻¹)
Jednoduché	210/3	Jednodřík	0,13	0,398	2,88
Dvojité	240/6	Soudek	0,125	0,407	2,817

Označení AlFe lana	Proud (A)	Jmenovitý průměr (mm)	Jmenovitá hmotnost lana (kg.km ⁻¹)	Matematický průřez lana (mm ²)	Vodorovné namáhání ve vodiči (MPa)
AlFe 240/6	657	21,75	984,37	281,66	103,807

Výpočet indukčnosti a kapacity pro stávající vedení:

Kapacita vedení

$$d_s = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} = 4,88 \text{ m}$$

$$D_s = \sqrt[3]{D'_{12} \cdot D'_{13} \cdot D'_{23}} = 32,22 \text{ m}$$

$$m = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c} = 15,92 \text{ m}$$

$$r = 11,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Vzdálenosti od vodičů:

$$d_{12} = 5,39 \text{ m}$$

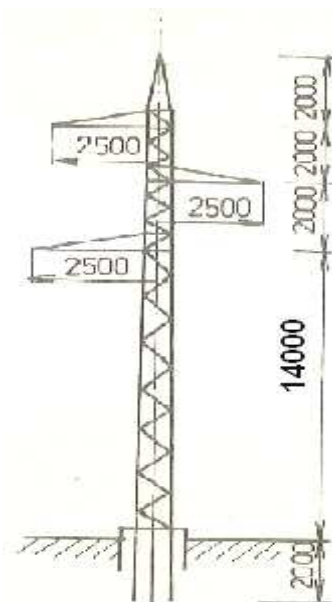
$$d_{13} = 4 \text{ m}$$

$$d_{23} = 5,39 \text{ cm}$$

$$D'_{12} = 34,37 \text{ m}$$

$$D'_{13} = 32 \text{ m}$$

$$D'_{23} = 30,41 \text{ m}$$



Obr. č. 18 Uspořádání vodičů na stožáru stávajícího vedení [1]

$$C_v = \frac{0,0242}{\log\left(\frac{d_s}{r} \cdot \frac{2 \cdot m}{D_s}\right)} = \frac{0,0242}{\log\left(\frac{4,88}{11,01 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{2 \cdot 15,92}{32,22}\right)} = 9,162 \cdot 10^{-3} \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$B_{(l)} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_v = 2,88 \mu\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$$

Indukčnost vedení:

$$L_v = 0,46 \cdot \log \frac{d_s}{r} + 0,05 = 0,46 \cdot \log \frac{4,88}{11,01 \cdot 10^{-3}} + 0,05 = 1,267 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$X_{(l)} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_v = 0,398 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Impedance stávajícího vedení, svodovou vodivost se zanedbává:

$$Z_{4,4} = l \cdot (R + iX) = 4,4 \cdot (0,13 + i0,398) = 0,572 + i1,751 \Omega$$

$$Z_{13} = l \cdot (R + iX) = 13 \cdot (0,13 + i0,398) = 1,69 + i5,174 \Omega$$

Impedance navrhovaného vedení, svodovou vodivost se zanedbává:

$$Z_{4,5} = l \cdot (R + iX) = 4,5 \cdot (0,125 + i0,407) = 0,563 + i1,832 \Omega$$

Celková impedance:

$$Z_P = Z_{4,4} + Z_{4,5} = 1,135 + i3,583 \Omega$$

$$Z_R = Z_{13} + Z_{4,5} = 2,253 + i7,006 \Omega$$

Úbytek napětí na vedení:

$$\Delta U_P = Z_P \cdot (I_{\varepsilon} + iI_j) = (1,135 + i3,583) \cdot (105 - i34,5) = 224,7 + i349,2 = 415,2 V$$

$$\Delta U_V = Z_R \cdot (I_{\varepsilon} + iI_j) = (2,253 + i7,006) \cdot (105 - i34,5) = 475,3 + i660 = 813,3 V$$

Výpočtem bylo zjištěno, že navrhovaná trasa vyhovuje z hlediska povoleného úbytku napětí.

Výpočet mechanických parametrů:

Provede se výpočet pomocí řetězovky za předpokladu rovnoměrného rozdělení tíhy i přídatného zatížení po délce vodiče. Potřebné hodnoty budou přepočteny na 1 metr.

Stejněměrná výška stožárů:

$$g_1 = m_1 \cdot g_z = 0,9844 \cdot 9,81 = 9,657 N \cdot m^{-1} \quad V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot 0,01088^2 \cdot 1 = 3,719 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$\gamma = \frac{g_1}{V} = \frac{9,657}{3,719 \cdot 10^{-4}} = 2,597 \cdot 10^4 N \cdot m^{-3}$$

Námrazek

Lokalita se nachází v námrazové oblasti N1 což je námraza do 1 kg na metr.

Přetížení vodiče vlivem námrazy:

$$z = \frac{m_1 + m_n}{m_1} = \frac{0,9844 + 1}{0,9844} = 2,02 kg \cdot m^{-1}$$

Fiktivní souřadnice nejnižšího bodu řetězovky od země:

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma} = \frac{1,0381 \cdot 10^8}{2,597 \cdot 10^4} = 3997 m \quad bez$$

$$c' = \frac{c}{z} = \frac{3997}{2,02} = 1979 m \quad s námrazou$$

Délka vodiče mezi stožáry:

$$l = 2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{a}{2 \cdot c}\right) = 7994 \cdot \sinh\left(\frac{350}{7994}\right) = 350,1 m \quad bez$$

$$l = 2 \cdot c' \cdot \sinh\left(\frac{a}{2 \cdot c'}\right) = 3958 \cdot \sinh\left(\frac{350}{3958}\right) = 350,5 m \quad s námrazou$$

Maximální průhyb vodiče:

$$f_{\max} = c \cdot \left(\cosh\left(\frac{a}{2 \cdot c}\right) - 1 \right) = 3997 \cdot \left(\cosh\left(\frac{350}{7994}\right) - 1 \right) = 3,83 \text{ m} \quad \text{bez}$$

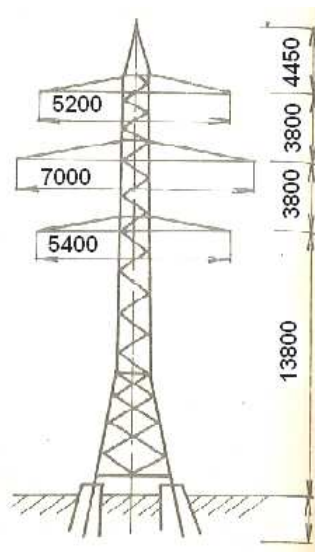
$$f_{\max} = c' \cdot \left(\cosh\left(\frac{a}{2 \cdot c'}\right) - 1 \right) = 1979 \cdot \left(\cosh\left(\frac{350}{3958}\right) - 1 \right) = 7,74 \text{ m} \quad \text{s námrazou}$$

Minimální výška zavěšení vodiče na stožáru:

$$h = f_{\max} + C = 3,83 + 6 = 9,83 \text{ m} \quad \text{bez}$$

$$h = f_{\max} + C = 7,74 + 6 = 13,74 \text{ m} \quad \text{s námrazou}$$

Předcházejícím výpočtem bylo zjištěno minimální zavěšení vodičů a podle tohoto výpočtu mohou být navrženy stožáry z hlediska výškového uspořádání. Vzdálenost mezi zvolenými stožáry bude 350 metrů, ve výpočtu nebyl zahrnut vliv síly větru na vodiče, který může ovlivnit vzdálenost mezi stožáry zmenšením rozpětí. V práci je zanedbán tento vliv a bude počítáno s navrženou délkou mezi stožáry. Stožáry budou konstruovány s min. zavěšením vodičů 13,8 metrů viz obr. č. 19. Rozpětí mezi stožáry lze zvolit větší, ale v tom případě by muselo dojít ke změně výšky stožárů. Pro navrhovanou délku vedení je pro tuto variantu zapotřebí 13 podpěrných bodů.



Obr. č. 19 Navržený typ stožáru Soudek [1]

6.4.2. Návrh vedení vvn varianta č.2

V tomto způsobu připojení je využito stávající vedení č. V 581 a 582, po kterém je přenášen výkon o velikosti 30 MW z rozvodny Prosenice do rozvodny Dluhonice. Rozdělení výkonu je stejnoměrné na obě vedení. Část tohoto vedení bude zatíženo ještě odběrem z průmyslové zóny. Provede se výpočet na kontrolu dovoleného úbytku napětí a výpočet pro návrh stožárů pro křižování vedení s železnicí. Odbočením od stávajícího vedení navrhovaným způsobem by se dalo říci, že odběr v průmyslové zóně by mohl být napájen ze dvou stran. Avšak podle skutečnosti v současné době je přenášen výkon z rozvodny Prosenice do Dluhonic. Výpočet na kontrolu úbytku bude proveden pro napájení z jedné strany.

Tabulka. č. 4 Parametry vedení [11]

Parametry venkovních vedení 110 kV					
Provedení	Vodiče AlFe (mm ²)	Stožáry	R ₍₁₎ (Ω.km ⁻¹)	X ₍₁₎ (Ω.km ⁻¹)	B ₍₁₎ (μS.km ⁻¹)
Dvojité	240/6	Soudek	0,125	0,4070	2,817
	450/6	Soudek	0,065	0,3854	2,982

Výpočet elektrických parametrů:

$$I_{n450} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{35 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 193,4 \text{ A}$$

$$I_{\varepsilon 450} = I_n \cdot \cos \varphi = 193,4 \cdot 0,95 = 183,7 \text{ A}$$

$$I_{j450} = I_{\varepsilon} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 183,7 \cdot 0,329 = 60,4 \text{ A}$$

$$I_{n240} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 110,5 \text{ A}$$

$$I_{\varepsilon 240} = I_n \cdot \cos \varphi = 110,4 \cdot 0,95 = 105 \text{ A}$$

$$I_{j240} = I_{\varepsilon} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 105 \cdot 0,329 = 34,5 \text{ A}$$

Impedance stávajícího a navrhovaného vedení, svodovou vodivost se zanedbává:

$$Z_{450} = l \cdot (R + iX) = 4,6 \cdot (0,065 + i0,3854) = 0,299 + i1,773 \Omega$$

$$Z_{240} = l \cdot (R + iX) = 6,3 \cdot (0,125 + i0,407) = 0,788 + i2,564 \Omega$$

Úbytek napětí na vedení:

$$\Delta U_{450} = Z_{450} \cdot (I_{\varepsilon 450} + iI_{j450}) = (0,299 + i1,773) \cdot (183,7 - i60,4) = 347,7 \text{ V}$$

$$\Delta U_{240} = Z_{240} \cdot (I_{\varepsilon 240} + iI_{j240}) = (0,788 + i2,564) \cdot (105 - i34,5) = 296,4 \text{ V}$$

$$\Delta U_C = \Delta U_{450} + \Delta U_{240} = 644,1 \text{ V}$$

Výpočtem bylo zjištěno, že navrhovaná trasa vyhovuje z hlediska povoleného úbytku napětí. U navržených stožárů umístěných v blízkosti koridoru železnice musí být provedeno ověření výpočtem na výšku zavěšení vodičů a tím i vzdálenost mezi stožáry. Umístění stožáru musí být provedeno tak, aby byla zachována ochranná pásma dráhy. Zbývající trasa vedení bude provedena se stejnými výškami stožárů a rozpětím mezi stožáry jako v navržené variantě č.1.

Ověření výpočtem volby stožárů umístěných u dráhy.

Maximální průhyb vodiče:

$$f_{\max} = c \cdot \left(\cosh \left(\frac{a}{2 \cdot c} \right) - 1 \right) = 3997 \cdot \left(\cosh \left(\frac{250}{7994} \right) - 1 \right) = 1,95 \text{ m} \quad \text{bez}$$

$$f_{\max} = c' \cdot \left(\cosh \left(\frac{a}{2 \cdot c'} \right) - 1 \right) = 1979 \cdot \left(\cosh \left(\frac{250}{3958} \right) - 1 \right) = 3,95 \text{ m} \quad \text{s námrazou}$$

Minimální výška zavěšení vodiče na stožáru:

$$h = f_{\max} + C = 1,95 + 12 = 13,95 \text{ m} \quad \text{bez}$$

$$h = f_{\max} + C = 3,95 + 12 = 15,95 \text{ m} \quad \text{s námrazou}$$

Navržené stožáry s min. výškou zavěšeného vodiče 16 m lze použít, neboť vzdálenost mezi stožáry 250 metrů je dostačující na dodržení ochranných pásem dráhy a křižování dráhy. Ještě se musí provést ověření min. výšky vodičů při nesouměrném zavěšení vodičů. Vzdálenost od stávajícího vedení k hranici dráhy je 450 metrů.

Nestejněměrná výška stožárů:

Fiktivní rozpětí:

$$a_i = a + \frac{2 \cdot c \cdot h}{a} = 250 + \frac{7994 \cdot 2,2}{250} = 320,3 \text{ m}$$

Průhyb vodiče:

$$f_{i \max} = c \cdot \left(\cosh \left(\frac{a_i}{2 \cdot c} \right) - 1 \right) = 3997 \left(\cosh \left(\frac{320,3}{7994} \right) - 1 \right) = 3,21 \text{ m} \quad \text{bez}$$

$$f_{i \max} = c' \cdot \left(\cosh \left(\frac{a_i}{2 \cdot c'} \right) - 1 \right) = 1979 \left(\cosh \left(\frac{320,3}{3958} \right) - 1 \right) = 6,48 \text{ m} \quad \text{s námrazou}$$

Minimální výška zavěšení vodiče na stožáru:

$$h = f_{\max} + C = 3,21 + 6 = 9,21 \text{ m} \quad \text{bez}$$

$$h = f_{\max} + C = 6,48 + 6 = 12,48 \text{ m} \quad \text{s námrazou}$$

Tímto výpočtem bylo zjištěno, že pro dodržení minimální vzdálenosti vodičů od země musí být mezi stávající vedení a stožár umístěný v blízkosti dráhy vložen ještě jeden stožár. Celkový počet stožárů pro odbočné vedení je 20 ks.

6.4.3. Návrh vedení vvn varianta č.3

Ověření parametrů vedení pro tuto variantu nebude provedeno, neboť z předešlých výpočtů vyplývá, že úbytek napětí bude v zadané toleranci a volba stožárů včetně vzdáleností mezi nimi bude stejná jako u varianty č. 1. Pro navrhovanou délku vedení 8,9 km bude použito 26 ks podpěrných bodů. Přesná specifikace stožárů a použité druhy by byly zpracovány až v projektové dokumentaci. Vycházelo by se s předem zpracovaného výškopisu plánované trasy a možnosti umístění stožárů. Mimo jiné také by se bralo v úvahu působení větru na vodiče a stožáry v dané výšce. Tyto zmiňované vlivy a podklady je zapotřebí brát v úvahu pro projekt každého nového vedení, což nebylo zmíněno u předchozích variant. Předchozí uvedené výpočty jsou pouze pro hrubý odhad rozmístění stožárů.

6.5. Náklady na výstavbu vedení vvn 110 kV

V této části bude uvedeno porovnání všech tří variant z hlediska finančních nákladů na výstavbu nového vedení vvn 110 kV. Ceny jednotlivých variant jsou rozděleny na materiálovou a montážní část. Do těchto cen nejsou zahrnuty náklady na vyhotovení projektové dokumentace, uzavření smluv a náhrady za věcná břemena s majiteli dotčených pozemků a také manipulace a zajištění vedení. Porovnání nákladu je uvedeno v tabulce č. 5.

Tabulka. č.5 Porovnání finančních nákladů na výstavbu nového vedení 110 kV

REKAPITULACE NÁKLADŮ v tisících Kč			
	Montáž	Materiál	Celkové náklady stavby
Varianta č. 1 délka vedení 4,5 km, 13 ks stožárů	19 857	18 046	37 903
Varianta č. 2 délka vedení 6,3 km, 20 ks stožárů	30 550	27 339	57 889
Varianta č. 3 délka vedení 8,9 km, 26 ks stožárů	39 716	35 970	95 792

7. Ověření návrhů na účinky zkratových proudů

Nová navržená vedení a vybavení transformovny musejí být zvoleny tak, aby odolaly tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů. V následující kapitole bude provedeno ověření navrhovaných způsobu napojení a vybavenosti transformovny. K dynamickým účinkům zkratových proudů musí být dále připočteny silové účinky působící na zařízení vlivem větru a námrazy. Také by mělo být ověřena, u rozvodny 110 kV, u trubkových vodičů, i AlFe vodičů minimální vzdušná vzdálenost, síly během zkratu a po zkratu. U přípojníc 110 kV se propočítávají ještě také ohybová napětí, dynamické síly na vnější a vnitřní podpěrky, ohybový moment vnitřní i vnější v patě podpěrného izolátoru, ohybový moment vnitřní i vnější v patě nosné konstrukce. Tyto podrobnější výpočty by byly řešeny v projektové dokumentaci zvolené varianty. Dále budou provedeny výpočty na maximální a minimální zkratový proud dle transfigurace zapojení vedení 110 kV. Výpočty maximálních zkratových proudů jsou potřebné pro dimenzování přístrojů a vodičů např. na tepelné účinky, nebo zvolení vypínací schopnosti vypínačů. Minimální hodnoty zkratových proudů je potřeba znát pro nastavení ochran. Ve výpočtech budou uvedeny maximální a minimální zkratové výkony rozveden mezi které bude umístěna nová transformovna. V uvedených výpočtech bude postupováno dle ČSN EN 60906-0 a dle ČSN EN 60865-1. Koeficienty uvedené ve výpočtech jsou použity dle norem.

k_1 – koeficient tvaru vodiče

k_2 – koeficient uspořádání vodičů a fázový posuv proudů

a – vzdálenost vodičů [m]

κ – součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu určen ČSN EN 60909-0

c – napětový součinitel dle ČSN EN 60909-0

m - součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu

n - součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu

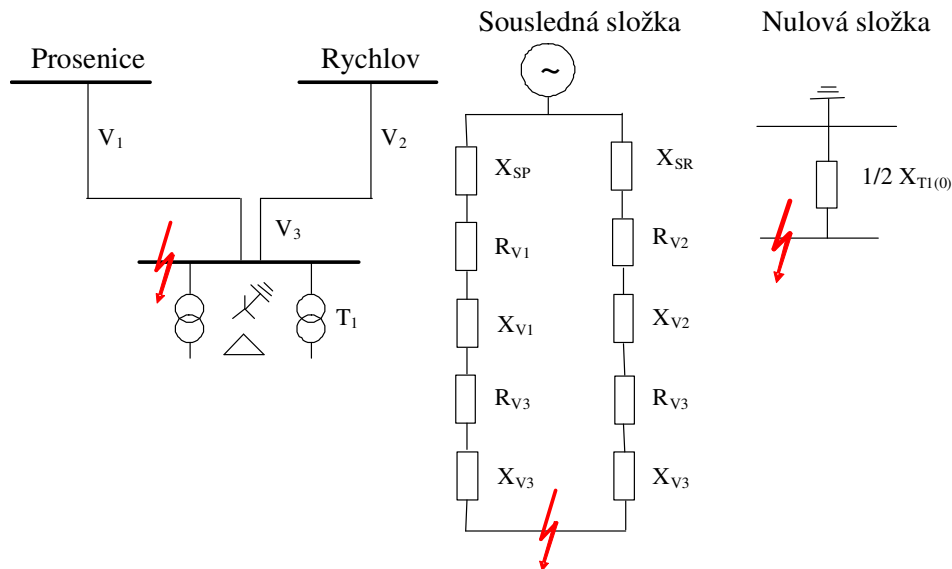
t_k – doba trvání zkratu [s]

K – koeficient respektující teplotu jádra vodiče před a po zkratu

7.1. Varianty č.1

Tabulka. č.6 Parametry vedení a rozvoden

Parametry konfigurace zapojení			
Zkratový výkon S_K		Max. [MVA]	Min. [MVA]
Rozvodna Prosenice		3 188,6	1 304,6
Rozvodna Rychlov		1 008,7	520,20
Parametry vedení	$R_{(l)} [\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$	$X_{(l)} [\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$	l [km]
Vedení V_1 AlFe 210/3	0,13	0,398	4,4
Vedení V_2 AlFe 210/3	0,13	0,398	13
Vedení V_3 AlFe 240/3	0,125	0,407	4,5



Obr. č. 20 Schéma napojení transformovny a náhradní schémata sousledných a nulových složek

Výpočet:

Reaktance soustavy (rozvoden)

$$X_{SP(MAX)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{3188,6 \cdot 10^6} = 4,174 \Omega \quad X_{SP(MIN)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{1304,6 \cdot 10^6} = 9,275 \Omega$$

$$X_{SR(MAX)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{1008,7 \cdot 10^6} = 13,195 \Omega \quad X_{SR(MIN)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{520,2 \cdot 10^6} = 23,26 \Omega$$

Vedení

$$R_{V1} = R_k \cdot l = 0,13 \cdot 4,4 = 0,572 \Omega$$

$$X_{V1} = X_k \cdot l = 0,398 \cdot 4,4 = 1,751 \Omega$$

$$R_{V2} = R_k \cdot l = 0,13 \cdot 13 = 1,69 \Omega$$

$$X_{V2} = X_k \cdot l = 0,398 \cdot 13 = 5,174 \Omega$$

$$R_{V3} = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 4,5 = 0,563 \Omega$$

$$X_{V3} = X_k \cdot l = 0,407 \cdot 4,5 = 1,832 \Omega$$

Transformátor:

$$Z_{T(1)} = X_{T(1)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{9,5 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 22,99 \, \Omega$$

$$Z_{(0)} = Z_{T(0)} = X_{T(0)} = 0,85 \cdot X_{T(1)} = 19,54 \, \Omega$$

$$Z_{A(MAX)} = R_{V1} + R_{V3} + j(X_{SP(MAX)} + X_{V1} + X_{V3}) = 1,135 + j7,757 \, \Omega$$

$$Z_{A(MIN)} = R_{V1} + R_{V3} + j(X_{SP(MIN)} + X_{V1} + X_{V3}) = 1,135 + j12,858 \, \Omega$$

$$Z_{B(MAX)} = R_{V2} + R_{V3} + j(X_{SR(MAX)} + X_{V2} + X_{V3}) = 2,253 + j20,201 \, \Omega$$

$$Z_{B(MIN)} = R_{V2} + R_{V3} + j(X_{SR(MIN)} + X_{V2} + X_{V3}) = 2,253 + j30,266 \, \Omega$$

Celková impedance:

$$Z_{(1)MAX} = \frac{Z_{A(MAX)} \cdot Z_{B(MAX)}}{Z_{A(MAX)} + Z_{B(MAX)}} = 5,658 \angle 82,2^\circ \, \Omega \quad Z_{(1)} = Z_{(2)}$$

$$Z_{(1)MIN} = \frac{Z_{A(MIN)} \cdot Z_{B(MIN)}}{Z_{A(MIN)} + Z_{B(MIN)}} = 9,056 \angle 85,2^\circ \, \Omega$$

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu pro minimální a maximální hodnoty třífázového, dvojfázového a jednofázového zkratu a maximální zkratový výkon.

$$I''_{k3MAX} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5,658} = 12,347 \, kA \quad I''_{k3MIN} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 9,056} = 7,013 \, kA$$

$$I''_{k2MAX} = \frac{c \cdot U_N}{2 \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 5,658} = 10,693 \, kA \quad I''_{k2MIN} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 9,056} = 6,073 \, kA$$

$$I''_{k1MAX} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_N}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3}{(2 \cdot 5,658) + 19,54} = 6,792 \, kA$$

$$I''_{k1MIN} = \frac{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3}{(2 \cdot 9,056) + 19,54} = 5,060 \, kA$$

$$S_{k3MAX} = \sqrt{3} \cdot I''_{k3MAX} \cdot U_V = \sqrt{3} \cdot 12,347 \cdot 10^3 \cdot 110 \cdot 10^3 = 2352 \, MVA$$

Výpočet tepelných a dynamických účinků zkratového proudu a ověření minimálního průřezu vodičů při době vypnutí 0,5 s je ověřován na maximální možný zkratový proud. V tomto případě se jedná o třífázový zkrat.

$$I_{th} = I''_{K3} \cdot \sqrt{m+n} = 12,347 \cdot \sqrt{0,06+1} = 12,712 \, kA$$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{12712 \cdot \sqrt{0,5}}{100} = 89,9 \, mm^2$$

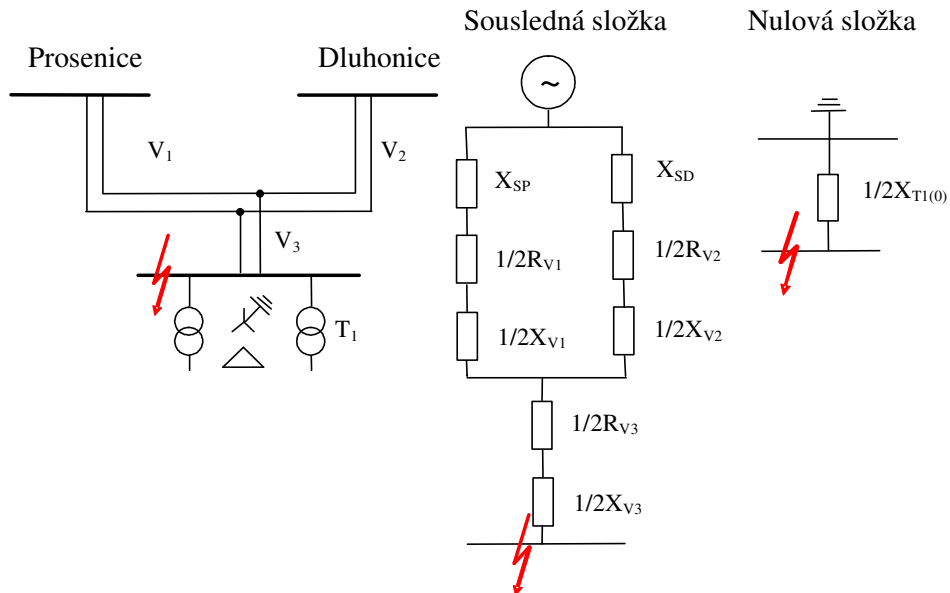
$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{K3} = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,347 = 29,682 \, kA$$

$$F_K = k_1 \cdot k_2 \cdot 2 \cdot \frac{i_p^2}{a} \cdot 10^{-7} = 1 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot \frac{29682^2}{2,5} \cdot 10^{-7} = 63,4 \, N \cdot m^{-1}$$

7.2. Varianty č.2

Tabulka. č.7 Parametry vedení a rozvoden

Parametry konfigurace zapojení			
Zkratový výkon		Max. [MVA]	Min. [MVA]
Rozvodna Prosenice		3 188,6	1 304,6
Rozvodna Dluhonice		2 461	749,1
Parametry vedení	$R_{(l)}$ [$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$]	$X_{(l)}$ [$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$]	l [km]
Vedení V_1 AlFe 450/6	0,065	0,3854	4,6
Vedení V_2 AlFe 450/6	0,065	0,3854	5,4
Vedení V_3 AlFe 240/3	0,125	0,407	6,3



Obr. č. 21 Schéma napojení transformovny a náhradní schémata sousledných a nulových složek

Výpočet:

Reaktance soustavy (rozvoden)

$$X_{SP(MAX)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{3188,6 \cdot 10^6} = 4,174 \Omega \quad X_{SP(MIN)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{1304,6 \cdot 10^6} = 9,275 \Omega$$

$$X_{SD(MAX)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{2461 \cdot 10^6} = 5,408 \Omega \quad X_{SD(MIN)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{749,1 \cdot 10^6} = 16,153 \Omega$$

Vedení

$$R_{V1} = R_k \cdot l = 0,065 \cdot 4,6 = 0,299 \Omega$$

$$X_{V1} = X_k \cdot l = 0,3854 \cdot 4,6 = 1,773 \Omega$$

$$R_{V2} = R_k \cdot l = 0,065 \cdot 5,4 = 0,351 \Omega$$

$$X_{V2} = X_k \cdot l = 0,3854 \cdot 5,4 = 2,081 \Omega$$

$$R_{V3} = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 6,3 = 0,788 \Omega$$

$$X_{V3} = X_k \cdot l = 0,407 \cdot 6,3 = 2,564 \Omega$$

Transformátor:

$$Z_{T(1)} = X_{T(1)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{9,5 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 22,99 \, \Omega$$

$$Z_{(0)} = Z_{T(0)} = X_{T(0)} = 0,85 \cdot X_{T(1)} = 19,54 \, \Omega$$

$$Z_{A(MAX)} = \frac{1}{2} \cdot (R_{V1} + R_{V3}) + j \left[X_{SP(MAX)} + \frac{1}{2} \cdot (X_{V1} + X_{V3}) \right] = 0,544 + j6,343 \, \Omega$$

$$Z_{A(MIN)} = \frac{1}{2} \cdot (R_{V1} + R_{V3}) + j \left[X_{SP(MIN)} + \frac{1}{2} \cdot (X_{V1} + X_{V3}) \right] = 0,544 + j1,444 \, \Omega$$

$$Z_{B(MAX)} = \frac{1}{2} \cdot (R_{V2} + R_{V3}) + j \left[X_{SD(MAX)} + \frac{1}{2} \cdot (X_{V2} + X_{V3}) \right] = 0,57 + j7,731 \, \Omega$$

$$Z_{B(MIN)} = \frac{1}{2} \cdot (R_{V2} + R_{V3}) + j \left[X_{SD(MIN)} + \frac{1}{2} \cdot (X_{V2} + X_{V3}) \right] = 0,57 + j1,476 \, \Omega$$

Celková impedance:

$$Z_{(1)MAX} = \frac{Z_{A(MAX)} \cdot Z_{B(MAX)}}{Z_{A(MAX)} + Z_{B(MAX)}} = 3,495 \angle 85,4^\circ \, \Omega \quad Z_{(1)} = Z_{(2)}$$

$$Z_{(1)MIN} = \frac{Z_{A(MIN)} \cdot Z_{B(MIN)}}{Z_{A(MIN)} + Z_{B(MIN)}} = 7,073 \angle 87,6^\circ \, \Omega$$

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu pro minimální a maximální hodnoty třífázového, dvojfázového a jednofázového zkratu a maximální zkratový výkon.

$$I''_{k3MAX} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3,495} = 19,988 \, kA \quad I''_{k3MIN} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 7,073} = 8,979 \, kA$$

$$I''_{k2MAX} = \frac{c \cdot U_N}{2 \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,495} = 17,310 \, kA \quad I''_{k2MIN} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 7,073} = 7,776 \, kA$$

$$I''_{k1MAX} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_N}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3}{(2 \cdot 3,495) + 19,54} = 7,9 \, kA$$

$$I''_{k1MIN} = \frac{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3}{(2 \cdot 7,073) + 19,54} = 6,222 \, kA$$

$$S_{k3MAX} = \sqrt{3} \cdot I''_{K3MAX} \cdot U_V = \sqrt{3} \cdot 19,988 \cdot 10^3 \cdot 110 \cdot 10^3 = 3808 \, MVA$$

Výpočet tepelných a dynamických účinků zkratového proudu a ověření minimálního průřezu vodičů při době vypnutí 0,5 s je ověřován na maximální možný zkratový proud. V tomto případě se jedná o třífázový zkrat.

$$I_{th} = I''_{K3} \cdot \sqrt{m+n} = 19,988 \cdot \sqrt{0,06+1} = 20,579 \text{ kA}$$

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{20579 \cdot \sqrt{0,5}}{100} = 145,5 \text{ mm}^2$$

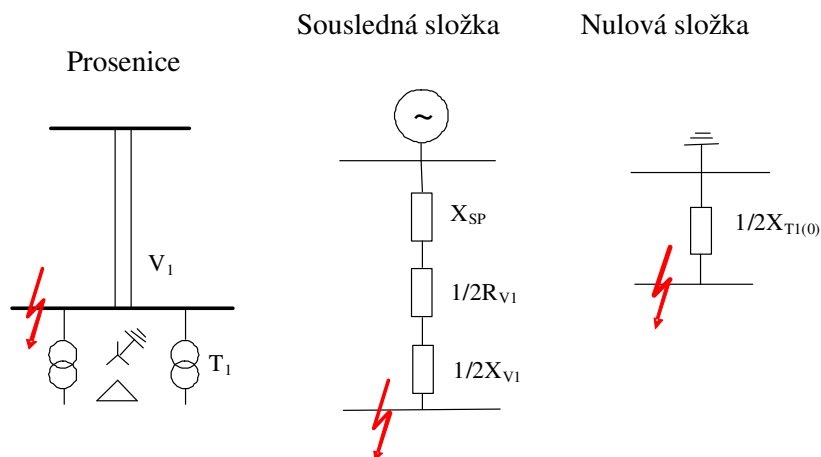
$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{K3} = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 19,988 = 48,054 \text{ kA}$$

$$F_K = k_1 \cdot k_2 \cdot 2 \cdot \frac{i_p^2}{a} \cdot 10^{-7} = 1 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot \frac{48054^2}{2,5} \cdot 10^{-7} = 166,3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

7.3. Varianty č.3

Tabulka. č. 8 Parametry vedení a rozvodny

Parametry konfigurace zapojení			
Zkratový výkon		Max. [MVA]	Min. [MVA]
Rozvodna Prosenice		3 188,6	1 304,6
Parametry vedení	R _(l) [Ω.km ⁻¹]	X _(l) [Ω.km ⁻¹]	l [km]
Vedení V ₁ AlFe 240/3	0,125	0,407	8,9



Obr. č. 22 Schéma napojení transformovny a náhradní schémata sousledných a nulových složek

Výpočet:

Reaktance soustavy (rozvoden)

$$X_{SP(MAX)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{31886 \cdot 10^6} = 4,174 \Omega \quad X_{SP(MIN)} = \frac{c \cdot U_N^2}{S_K} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{13046 \cdot 10^6} = 9,275 \Omega$$

Vedení

$$R_{V1} = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 8,9 = 1,113 \Omega$$

$$X_{V3} = X_k \cdot l = 0,407 \cdot 8,9 = 3,622 \Omega$$

Transformátor:

$$Z_{T(1)} = X_{T(1)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{9,5 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 22,99 \, \Omega$$

$$Z_{(0)} = Z_{T(0)} = X_{T(0)} = 0,85 \cdot X_{T(1)} = 19,54 \, \Omega$$

Celková impedance:

$$Z_{(1)MAX} = \frac{1}{2} \cdot R_{V1} + j \left(X_{SP(MAX)} + \frac{1}{2} \cdot X_{V1} \right) = 0,5565 + j5,985 = 6,011 \angle 84,7^\circ \, \Omega$$

$$Z_{(1)MIN} = \frac{1}{2} \cdot R_{V1} + j \left(X_{SP(MIN)} + \frac{1}{2} \cdot X_{V1} \right) = 0,5565 + j1,1086 = 1,11 \angle 87,1^\circ \, \Omega$$

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu pro minimální a maximální hodnoty třífázového, dvojfázového a jednofázového zkratu a maximální zkratový výkon.

$$I''_{k3MAX} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,011} = 11,622 \, kA \quad I''_{k3MIN} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,1} = 5,721 \, kA$$

$$I''_{k2MAX} = \frac{c \cdot U_N}{2 \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 6,011} = 10,065 \, kA \quad I''_{k2MIN} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 11,1} = 4,955 \, kA$$

$$I''_{k1MAX} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_N}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3}{(2 \cdot 6,011) + 19,54} = 6,640 \, kA$$

$$I''_{k1MIN} = \frac{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3}{(2 \cdot 11,1) + 19,54} = 4,565 \, kA$$

$$S_{k3MAX} = \sqrt{3} \cdot I''_{k3MAX} \cdot U_V = \sqrt{3} \cdot 11,622 \cdot 10^3 \cdot 110 \cdot 10^3 = 2214 \, MVA$$

Výpočet tepelných a dynamických účinků zkratového proudu a ověření minimálního průřezu vodičů při době vypnutí 0,5 s je ověřován na maximální možný zkratový proud.

V tomto případě se jedná o třífázový zkrat.

$$I_{th} = I''_{K3} \cdot \sqrt{m+n} = 11,622 \cdot \sqrt{0,06+1} = 11,966 \, kA$$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{11966 \cdot \sqrt{0,5}}{100} = 84,6 \, mm^2$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{K3} = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 11,622 = 27,941 \, kA$$

$$F_K = k_1 \cdot k_2 \cdot 2 \cdot \frac{i_p^2}{a} \cdot 10^{-7} = 1 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot \frac{27941^2}{2,5} \cdot 10^{-7} = 56,2 \, N \cdot m^{-1}$$

8. Technické a ekonomické zhodnocení navržených variant

Z technického hlediska je důležité ověření výpočtem navrženého zařízení na dovolený maximální úbytek napětí, na maximální zkratový proud a jeho tepelné i dynamické účinky. Další zásadní věcí pro výstavbu je výpočet mechaniky venkovního vedení, které je použito jak u vedení tak i pro portály k napojení rozvodny 110 kV. Všechny tyto aspekty mají další vliv na cenu navrženého způsobu provedení transformovny 110/22 kV. Pro srovnání navržených variant byly provedeny výpočty zkratových proudů a dle zmiňovaných aspektů a finančních nákladů bude zvolena nejvhodnější varianta.

Tabulka. č. 9 Hodnoty sledovaných veličin jednotlivých variant

Vypočtené hodnoty			
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Dovolený úbytek napětí [V]	813,3	644,1	418,8
Max. zkratový proud [kA]	12,347	19,988	11,622
Zkratová odolnost tepelná [kA]	12,712	20,579	11,966
Zkratová odolnost dynamická [kA]	29,682	48,054	27,941
Dovolený minimální průřez [mm ²]	89,9	145,5	84,6

Z vypočtených hodnot zkratového proudu jednotlivých variant je patrné, že varianta č. 2 je nejvíce náročná na dimenzování navrženého zařízení. Všechny varianty vyhovují minimálním hodnotám dle metodiky ČEZ Distribuce. Bylo by možné snížit nadimenzování zařízení a tím by došlo k finanční úspoře řádově několika statisíců, ale v případě změny konfigurace např. v přenosové soustavě by muselo dojít k přepočítání parametrů a následně i k výměně zařízení dimenzované na vyšší zkratové proudy. Proto bude pro ekonomické zhodnocení ponechána navržená varianta jak pro vedení 110 kV tak i pro rozvodnu 110 kV.

Pro ekonomické porovnání daných variant bude počítáno s cenami na výstavbu transformovny 110/22 kV, vedení vvn 110 kV a zaplacením podílu na oprávněných nákladech. Náklady na zaplacení podílu budou vycházet již ze zmiňovaného výkonu 20 MW. Ceny budou rozděleny podle hranic vlastnictví žadatele a PDS. U varianty č. 1 bude předpokládáno, že finanční náklady na stavební objekty u transformovny budou hrazeny žadatelem a vybavení vývodových polí a přípojnic z pohledu materiálového a montážního bude hrazeno PDS. Srovnání jednotlivých variant je uvedeno v tabulce č. 10.

Tabulka. č.10 Ekonomické porovnání navržených variant

Rozdělení nákladů na výstavbu v tisících Kč				
		Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3
PDS	Vedení 110 kV	37 903	57 889	0
	Rozvodna 110 kV	18 525	0	0
Celková cena		56 428	57 889	0
Žadatel	Vedení 110 kV	0	0	95 792
	Transformovna 110/22 kV	119 224	137 749	145 249
	Podíl dle vyhlášky č. 81/2010	12 000	12 000	3 000
Celková cena		131 224	149 749	244 041

Jak je patrné v předešlé tabulce je pro žadatele o připojení z ekonomického hlediska nejvhodnější varianta č. 1. Pro PDS jsou varianty č. 1 a 2 dá se říci srovnatelné. Při volbě vhodné varianty je přihlíženo z velké části na pořizovací cenu celé stavby. Proto varianta č. 1 je přijatelná jak z ekonomického hlediska, tak i z technického hlediska je dimenzováno vedení i navržená rozvodna 110 kV na nárůst spotřeby o dalších necelých 10 MW.

9. Porovnání činných ztrát napájení průmyslové zóny z napětové hladiny 110 kV a 22 kV

Dalším důležitým ukazatelem navýšení výkonu průmyslové zóny a volba pro přechod napájení na vyšší napětovou hladinu jsou činné ztráty vedení. V následující části budou porovnány ztráty při přenosu stejného výkonu na napětové hladině 22 kV a 110 kV. Pro výpočet bude zachován již použitý výkon 20 MW. Ke srovnání činných ztrát na vedení vvn budou použity parametry pro zvolenou variantu č. 1, která z ekonomického hlediska je pro zákazníka nejvýhodnější. Pro původní variantu napojení průmyslové zóny z vedení vn se uvažuje využití pro zvolený přenos výkonu dvou paralelních vedení složených z kabelového a venkovního provedení. Přenášený výkon 20 MW bude souměrně rozdělen na obě vedení a pro původní řešení se dá říci, že se hodnota přenášeného výkonu blíží k maximu schopnosti přenosu stávajících vedení.

Tabulka. č.11 Parametry jednotlivých vedení a transformátoru [11]

Parametry vedení 110 kV				
Vodiče AlFe (mm ²)	Délka vedení l (km)	Odpor na 1 km délky R (Ω.km ⁻¹)		
210/3	4,4	0,13		
240/6	4,5	0,123		
Parametry transformátoru 110/22 kV SIEMENS				
Výkon S _N (MVA)	Napětí nakrátko (%)	Proud naprázdno (%)	Ztráty nakrátko (kW)	Ztráty naprázdno (kW)
25	9,5	2	63	24
Parametry vedení 22 kV				
Druhy vedení		Délka vedení l (km)	Odpor na 1 km délky R (Ω.km ⁻¹)	
Kabel AXEKVCEY 3x1x240 mm ²		5,9	0,125	
Vodiče AlFe 3x120/6		4,04	0,234	

Výpočet činných ztrát na vedení vn:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 552,5 \text{ A}$$

$$I_\varepsilon = I_n \cdot \cos \varphi = 552,5 \cdot 0,95 = 524,9 \text{ A} \quad I_{\varepsilon V} = \frac{I_\varepsilon}{2} = 262,45 \text{ A}$$

$$I_j = I_\varepsilon \cdot \tan \varphi = 524,9 \cdot 0,329 = 172,5 \text{ A} \quad I_{jV} = \frac{I_j}{2} = 86,25 \text{ A}$$

Jak bylo zmiňováno přenášený výkon bude rozdělen na dvě vedení a tím pádem budou hodnoty proudu také poloviční.

$$\Delta P_V = 3 \cdot R \cdot (I_{\varepsilon V}^2 + I_{jV}^2) = 3 \cdot (R_K \cdot l_K + R_V \cdot l_V) \cdot (I_{\varepsilon V}^2 + I_{jV}^2)$$

$$\Delta P_V = 3 \cdot (0,125 \cdot 5,9 + 0,234 \cdot 4,04) \cdot (262,45^2 + 86,25^2) = 385,3 \text{ kW}$$

$$\Delta P_C = 2 \cdot \Delta P_V = 770,6 \text{ kW}$$

Výpočet činných ztrát na vedení vvn:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 110,5 \text{ A}$$

$$I_{\varepsilon} = I_n \cdot \cos \varphi = 110,5 \cdot 0,95 = 105 \text{ A}$$

$$I_j = I_{\varepsilon} \cdot \tan \varphi = 105 \cdot 0,329 = 34,5 \text{ A}$$

$$\Delta P_V = 3 \cdot R \cdot (I_{\varepsilon}^2 + I_j^2) = 3 \cdot (R_{210} \cdot l_{210} + R_{240} \cdot l_{240}) \cdot (I_{\varepsilon}^2 + I_j^2)$$

$$\Delta P_V = 3 \cdot (0,13 \cdot 4,4 + 0,125 \cdot 4,5) \cdot (105^2 + 34,5^2) = 41,6 \text{ kW}$$

Zde se nesmí zapomenout připočíst ztráty na transformátoru 110/22 kV.

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \left(\frac{S}{S_N} \right)^2 \cdot \Delta P_{KN} = 24 \cdot 10^3 + \left(\frac{20 \cdot 10^6}{25 \cdot 10^6} \right)^2 \cdot 63 \cdot 10^3 = 64,3 \text{ kW}$$

$$\Delta P_C = \Delta P_T + \Delta P_V = 105,9 \text{ kW}$$

Porovnáním těchto dvou variant je samozřejmě výhodnější přejít pro takový to přenášený výkon na vyšší napěťovou hladinu. Kompenzací finančních nákladů na výstavbu nové transformovny a vedení 110 kV jsou alespoň minimálně kompenzovány úsporami ve snížení činných ztrát.

10. Závěr

Touto prací bylo poukázáno na možnost řešení dodávky el. energie pro rozrůstající se průmyslovou zónu a následné zvolení vhodné varianty. Vycházelo se z původního stavu zásobování této zóny el. energií z napěťové hladiny 22 kV prostřednictvím dvou vyhrazených linek. Tato vedení jsou však omezena přenosovou schopností výkonu a z tohoto důvodu je pro nárůst spotřeby v průmyslové zóně nezbytné hledat nové řešení zajištění dodávky el. energie. Pro pokrytí potřebného výkonu je uvažováno zásobování průmyslové zóny přechodem na vyšší napěťovou hladinu 110 kV.

V této práci jsou blíže popsány podmínky pro připojení z této napěťové hladiny, jejich způsob připojení a provedení, včetně celkového popisu a složení transformovny 110/22 kV. Byly navrženy tři možné varianty připojení transformovny, které byly posouzeny z technického a ekonomického hlediska a byla vybrána nejvhodnější varianta. Ta byla posouzena se stávajícím zapojením napájení průmyslové zóny z hlediska činných ztrát pro přenos zadaného výkonu a výsledkem byla úspora přes 600 kW při přechodu na napěťovou hladinu 110 kV.

Zpracování projektové dokumentace a následná výstavba nového vedení 110 kV a nové transformovny není jednoduchou věcí. Vypracování projektové dokumentace obnáší zpracování spousty stavebních, elektrických a jiných podkladů pro správné dokončení projektové dokumentace. Toto vše obnáší velkou časovou přípravu řádově dvou až tří let. Obdobně je tomu i u výstavby. Pro snadnější vypracování je základem dokonalý zadávací návrh. Tato práce přispívá k přiblížení celkové problematiky a může sloužit jako vodítko pro tvorbu zadávacího návrhu na jaké podrobnosti je třeba se zaměřit a přiblíží finanční náročnost celé stavby.

Použitá literatura

- [1] Pavel, Santarius. Elektrické stanice a vedení. dotisk. Ostrava, 1993. 215 s. ISBN 80-7078-032-0
- [2] Zákon č. 458/2000 Sb. a novelizace zákon 211/2011 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích.
- [3] Vyhláška č. 81/2010 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.
- [4] Pravidla provozování distribuční soustavy [online]. Publikováno 01.12.2011 [cit. 2011-12-20]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011_ppds.pdf>
- [5] Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě [online]. Publikováno 01.12.2011 [cit. 2011-12-20]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011-priloha-6_def.pdf>
- [6] Jaroslava, Orságová. Rozvodná zařízení. [s.l.] : [s.n.], 2004. 148 s. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky.
- [7] Připojovací podmínky pro umístění měřících zařízení v odběrných a předacích místech napojených ze sítí VN,VVN ČEZ [online]. Publikováno 04.02.2009 [cit. 2011-12-20]. Dostupné z: <<http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/kpp-ab-2009.pdf>>
- [8] Metodika Koncepce elektrických stanic vvn/vn [online]. Publikováno 01.12.2011 [cit. 2012-03-20] Dostupné z: <<http://www.cezdistribuce.cz/cs/technicke-informace/standardy2g/standardy-katalog.html?folder=/metodiky-a-dalsi-dokumentace/Metodiky>>
- [9] Zdeněk, Hradílek. Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. 1.vyd. Ostrava, 2008. 210 s. ISBN 978-80-248-1696-8
- [10] Studijní materiály, předmět Projektování elektrických distribučních sítí, Mechanika vedení [online]. Dostupné z <http://feil.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm> [cit. 2012-03-26]
- [11] Studijní materiály, předmět Energetika, Cvičení z energetiky [online]. Dostupné z <http://feil.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm> [cit. 2012-03-26]
- [12] Sita, Aleš. Problematika navýšení výkonu průmyslové zóny napájené ze sítě VN. Ostrava , 2010. 25 s. Bakalářská práce na Fakultě elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava na katedře elektroenergetiky. Vedoucí bakalářské práce Radomír Goňo.
- [13] Foto přípojnicového odpojovače [online]. Publikováno 04.01.2012 [cit. 2012-03-20] Dostupné z: <<http://www.serw.cz/category/3-123-kv-horizontalni-odpojovace.html>>
- [14] Foto trojpólového vypínače vvn [online]. Publikováno 04.01.2012 [cit. 2012-03-20] Dostupné z: <<http://www.abb.cz/product/db0003db002618/c12573e7003302adc1256e46005d8bcb.aspx?productLanguage=cz&country=CZ>>
- [15] Foto přístrojové transformátory proudu a napětí vvn [online]. Publikováno 04.01.2012 [cit. 2012-03-20] Dostupné z: <http://www.elpro-energo.cz/galerie/pristrojove-transformatory/index.html#slides/pristrojove_02.jpg>
- [16] Foto uzlového odporníku [online]. Publikováno 04.01.2012 [cit. 2012-03-20] Dostupné z: <<http://www.ege.cz/index.php?docid=279&lang=CZ>>
- [17] Foto transformátoru 110/22 kV Foto transformátoru 110/22 kV [online]. Publikováno 04.01.2012 [cit. 2012-03-20] Dostupné z: <http://www.etd-bez.cz/index.php?goto=ho73CTpq&sekce=ho73CTpq&lng=cz> >
- [18] Metodický postup připojování elektrického zařízení k DS vydáno. Děčín: ČEZ Distribuce a.s., 2012. 75 s.

Seznam příloh

Příloha č.I.:

Příklad provedení rozvodny vvn typu H, jednopólové schéma

Příloha č.II.:

Jednopólové schéma rozvodny vn pro průmyslovou zónu

Příloha č.III.:

Půdorys BSP pro transformovnu typu H

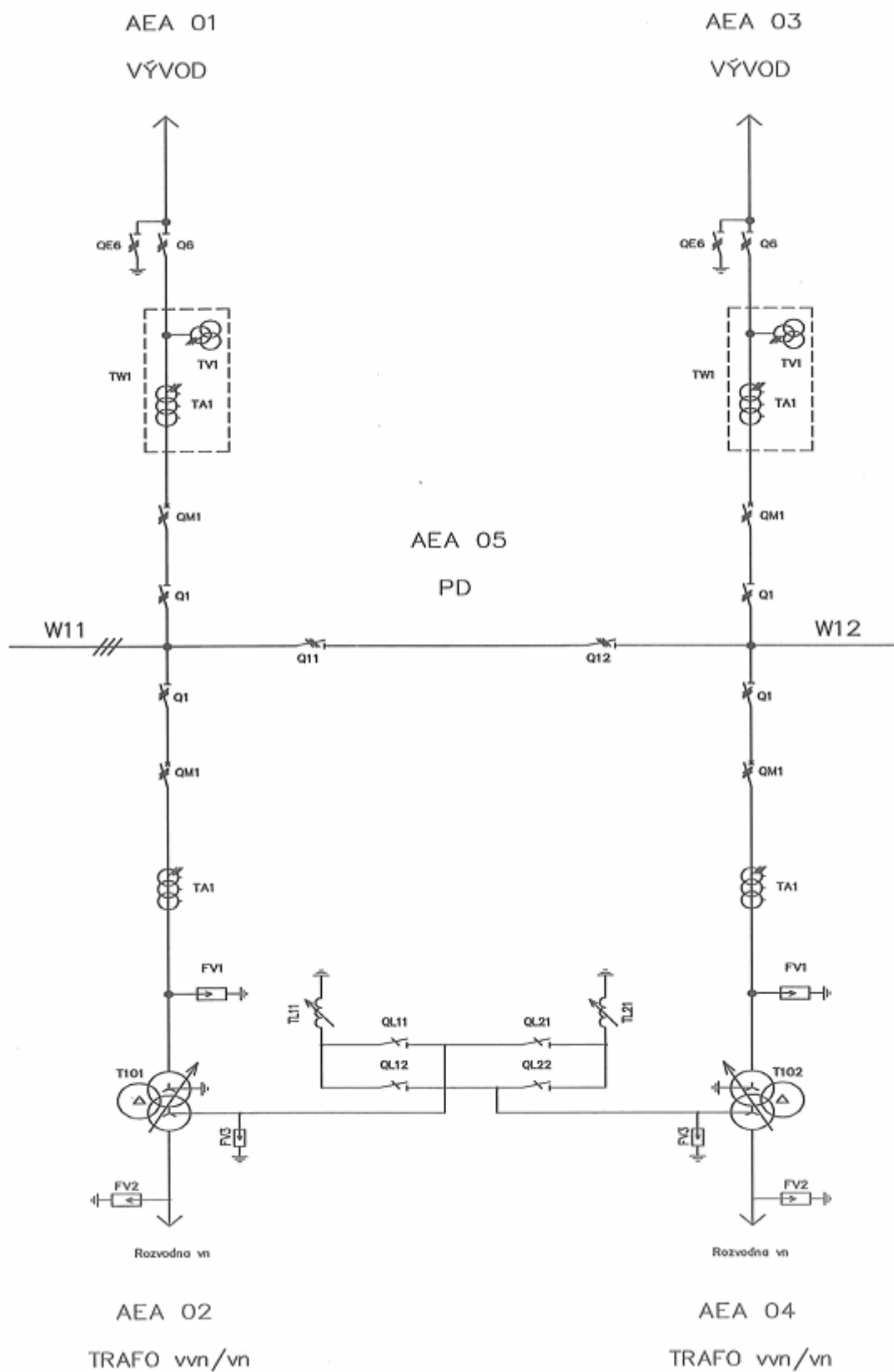
Příloha č.IV.:

Určení vlastnických hranic u rozvodny typu H jednopólové schéma

Příloha č.I.

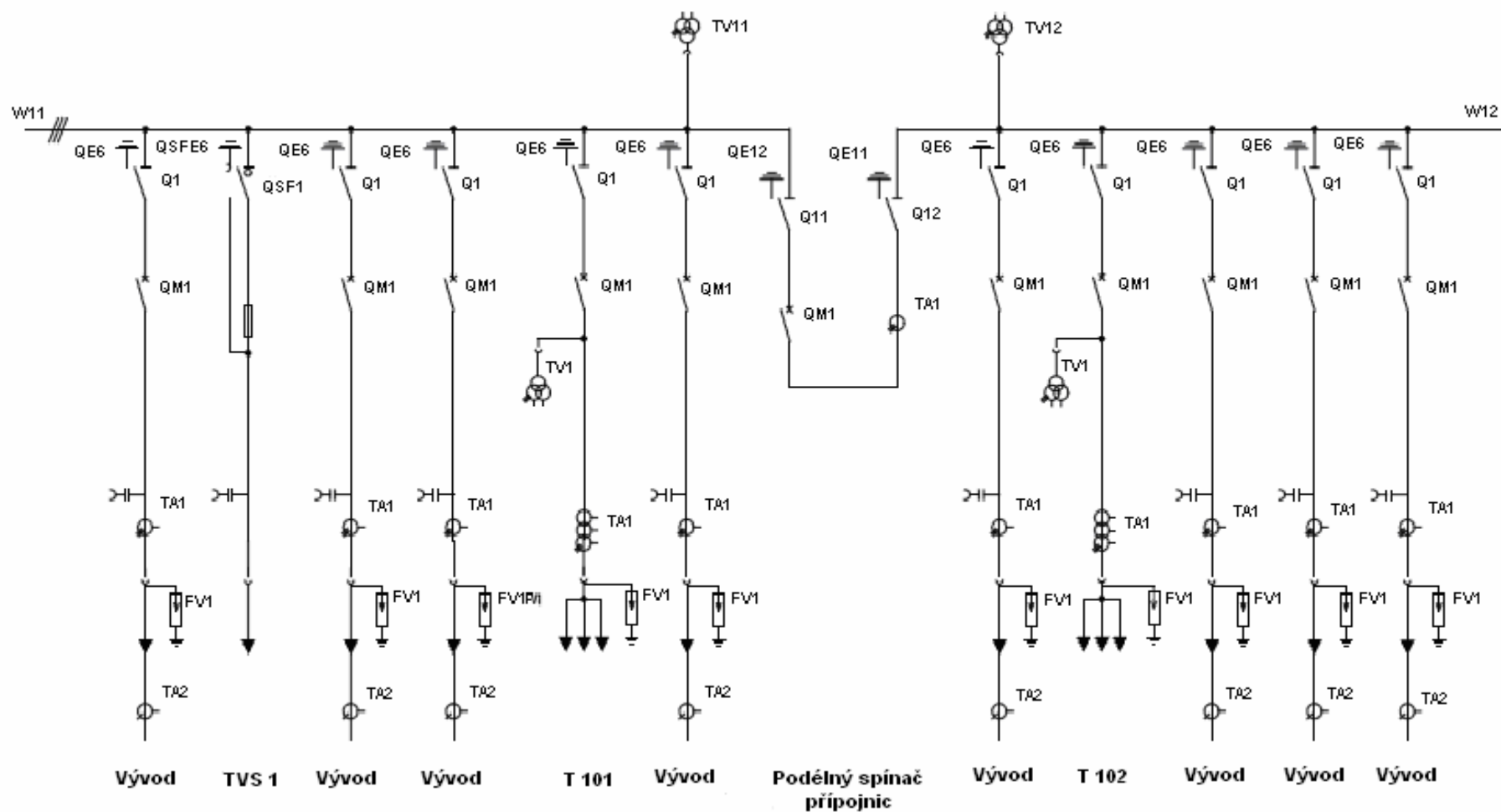
Příklad provedení rozvodny vvn typu H Jednopolové schéma

[8]



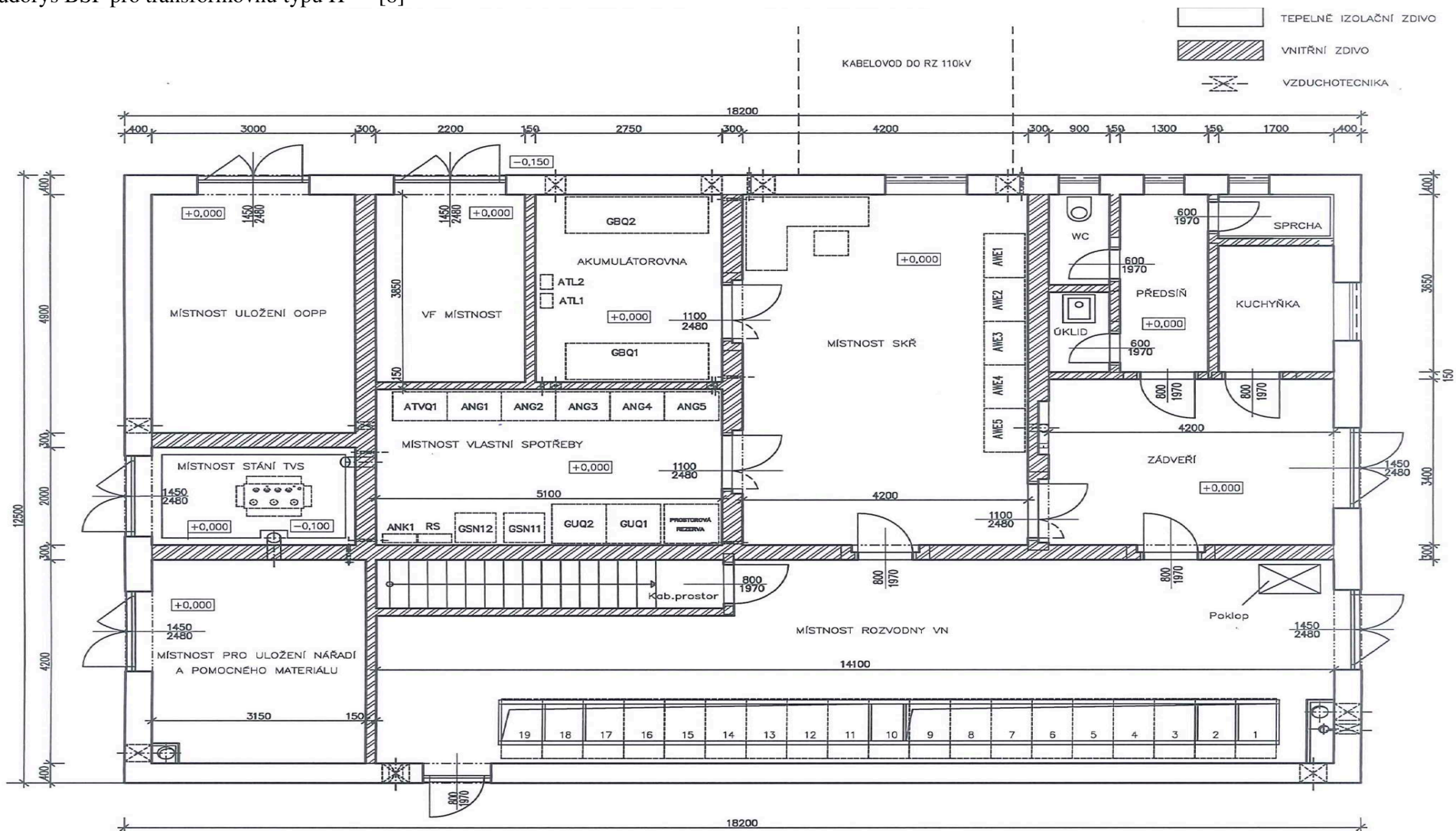
Příloha č.II.

Jednopolové schéma rozvodny vn pro průmyslovou zónu



Příloha č.III.

Půdorys BSP pro transformovnu typu H [8]



Příloha č.IV.

Určení vlastnických hranic u rozvodny typu H jednopólové schéma

[8]

